NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. ANDRÉ BROCA

PROFESSEUR AGRÉGÉ DE PHYSIQUE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE
RÉPÉTITEUR A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

PARIS
G. STEINHEIL, ÉDITEUR
RUE CASIMIR-DELAVIGNE, 2

1907

TITRES DIVERS

Élève à l'École Polytechnique.	1883-1885
Officier d'artillerie.	1885-1888
Préparateur de physique à la Faculté de Médecine.	1888-1898
Docteur en médecine.	1893
Professeur agrégé de physique à la Faculté de Médecine.	1898
Répétiteur à l'École Polytechnique.	1902
Chargé du remplacement de M. le professeur Gariel.	1899-1900
Chargé de conférences de physique médicale à la Faculté de Médecine.	2ᵉ semestre 1898-1899
	2ᵉ semestre 1899-1900
	2ᵉ semestre 1900-1901
	2ᵉ semestre 1901-1902
	1ᵉʳ semestre 1902-1903
	2ᵉ semestre 1903-1904
	1ᵉʳ semestre 1904-1905
	2ᵉ semestre 1905-1906
	1ᵉʳ semestre 1906-1907
Classé en troisième ligne par la section de physique de l'Académie des Sciences.	13 juin 1906

TABLE DES MATIÈRES

Première Partie. — Introduction et Résumé général.

Deuxième Partie. — Recherches cliniques.

Troisième Partie. — Optique physiologique.

Quatrième Partie. — Ophtalmométrologie.

Cinquième Partie. — Physiologie générale.

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. ANDRÉ BROCA

PROFESSEUR AGRÉGÉ DE PHYSIQUE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE
RÉPÉTITEUR A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

PREMIÈRE PARTIE

INTRODUCTION ET RÉSUMÉ GÉNÉRAL

INTRODUCTION

Entré en 1888 au laboratoire de physique de la Faculté de médecine[1], j'ai poursuivi depuis cette époque un but précis, celui de travailler toujours aux progrès et à l'enseignement de la physique médicale. C'est une idée juste, je crois, que pour accomplir aujourd'hui une œuvre utile en physique médicale, il faut avant tout se rendre maître de la physique pure; ce qui est facile est fait en notre XXe siècle, et on ne peut espérer faire encore œuvre nouvelle qu'en approfondissant le domaine des théories élevées, où les vues s'élargissent, et permettent d'embrasser un plus vaste terrain.

En somme, si j'ai consacré une grande partie de mes efforts à la physique

1. M. le P[r] Gariel m'a accueilli dans son laboratoire avec une bienveillance qui ne s'est jamais démentie, je lui en exprime ici ma profonde reconnaissance.

pure cela fut avec l'espérance formelle d'y trouver des éléments utiles d'application soit à la physiologie, soit même à la clinique.

La présente notice a pour but d'exposer principalement mes travaux d'application à la médecine et à la physiologie, sans toutefois passer sous silence ce qui a trait à la physique pure ; elle contient donc un Résumé général, où tous mes travaux sont mentionnés, et ensuite un développement un peu plus étendu de ceux qui se rapportent aux applications médicales et à la physiologie.

RÉSUMÉ GÉNÉRAL

A. — RECHERCHES CLINIQUES

a. Étude des éruptions cutanées (voir 2ᵉ partie, §§ 1 et 2). — Ma thèse, passée en 1893, contient l'étude détaillée de divers points théoriques qui seront développés plus loin, et cette théorie conduit à des conséquences pratiques relativement à l'étude des éruptions cutanées, dont voici le résumé sommaire.

1° Il ne faut pas examiner une éruption délicate dans une chambre tendue de rouge ou avec une lumière artificielle à prédominance de rayons rouges (lampes à huile ou à pétrole, bougies, lampe à incandescence peu poussée).

2° L'emploi des sources modernes à haute température (bec Auer, arc électrique, etc.) est au contraire justifié.

3° Avec une lumière intense, on a une très grande délicatesse dans la perception des éruptions cutanées en armant l'œil d'un verre bleu Isly.

4° Il faut opérer par vision binoculaire, en ayant soin d'éviter toute lumière parasite n'ayant pas traversé le verre bleu, qui fatiguerait la vue et nuirait à l'observation.

L'emploi de la vision binoculaire et du verre bleu Isly permet trois choses importantes :

1° Prévision d'une éruption avant que l'œil ne permette de l'affirmer ;

2° Révélation des traces d'une éruption antérieure ;

3° Révélation d'une éruption fruste.

De nombreux médecins ont employé cette méthode, et elle rend des services surtout pour l'affirmation de roséoles syphilitiques douteuses.

b. Emploi de l'arc au fer en photothérapie (voir 2ᵉ partie, § 3). — Nous avons montré, en collaboration avec M. A. Chatin, que l'on pouvait supprimer complètement les réfrigérants dans l'application de la photothérapie, à condition d'employer une source actinique convenable, constituée par un arc

électrique dont le charbon positif est creux, le vide intérieur étant rempli par un bâton de fonte convenable. Dans ces conditions on peut réaliser des arcs alimentés par 17 ampères, et tenir la main à 10 centimètres de distance sans brûlure. Le traitement des lupus par ce procédé a donné des résultats comparables à ceux de la méthode de Finsen, avec un prix de revient infiniment moindre.

B. — RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES

§ 1. — Optique physiologique.

a. Sensation binoculaire (voir 3e partie A, §§ 1 et 2). — Dans ma thèse, il est établi que les sensations dues aux deux yeux s'ajoutent, et que la sensibilité pour les différences de clarté est doublée par la vision binoculaire. J'en ai tiré ultérieurement quelques conclusions théoriques relatives au fonctionnement de l'appareil nerveux visuel, qui seront indiquées avec quelques détails plus loin.

b. Images accidentelles sur fond obscur (voir 3e partie A, § 3). — Dans le même travail, l'étude expérimentale des images accidentelles sur fond obscur m'a montré que celles-ci ne pouvaient être considérées comme des persistances des impressions lumineuses sur la rétine, car, lorsque l'impression est assez grande, il y a un temps de plusieurs secondes écoulé entre la cessation de l'excitation objective et le commencement de l'apparition de l'image accidentelle subjective. L'hypothèse qui semble le mieux coordonner les faits est que les terminaisons nerveuses sont excitées par le travail de reconstitution des substances usées sous l'action de la lumière.

Cette manière de voir est corroborée par l'existence des scotomes scintillants.

c. La sensation lumineuse en fonction du temps (en commun avec M. Sulzer) (voir 3e partie A, §§ 4 et 5). — On savait depuis Brücke que la sensation de blanc obtenue avec les disques rotatifs papillotants était plus forte que celle du blanc du disque arrêté.

Mais, par les expériences de Richet et Breguet, puis Charpentier, on savait que les lumières extrêmement brèves étaient moins éclatantes que les mêmes lumières vues en régime permanent.

Nous avons pu construire par points la courbe qui donne la sensation en fonction du temps, et nous avons vu que le maximum de sensation pouvait être beaucoup plus élevé que la sensation permanente.

Nous avons appelé *ondulation de fatigue* le rapport de l'excès de l'ordonnée maxima de la courbe de sensation sur l'ordonnée qui mesure, en régime permanent, la grandeur de celle-ci. Nous avons montré que l'on-

dulation de fatigue est minima dans le vert, plus grande dans le rouge, et plus grande encore dans le bleu, à égalité d'éclat.

C'est dans le vert-jaune, où l'énergie du spectre solaire est maxima, que l'œil, d'après Langley, utilise le mieux la lumière pour l'acuité visuelle, et c'est là un phénomène frappant d'adaptation au milieu ; nous avons montré que l'œil s'est encore adapté au milieu le mieux possible en utilisant cette même radiation avec le minimum de fatigue.

d. Causes rétiniennes de variation de l'acuité visuelle en lumière blanche (voir 3ᵉ partie B, § 1). — Ce travail concilie la théorie d'Helmholtz, d'après laquelle la distinction de deux points a lieu quand, entre les images rétiniennes de ces deux points, se trouve un élément rétinien non impressionné, avec les variations que présente l'acuité visuelle en fonction de l'éclairage. Au premier abord, cette variation paraît en effet incompatible avec l'idée que l'élément rétinien ou territoire indépendant, comme je l'ai nommé, est le cône de la fovea, élément rétinien qui semble fixe ; mais j'ai pu établir que la variation de l'acuité visuelle dépendait non seulement de l'éclat même des objets à distinguer, mais encore de l'état d'adaptation de la rétine à la lumière ambiante.

Quand l'acuité visuelle de l'œil pour un tout petit objet sur fond noir dépasse notablement l'unité, elle augmente par la fatigue due à la lumière ambiante ; elle diminue au contraire dans les mêmes conditions quand elle est inférieure à l'unité.

La lumière ambiante forte diminue la sensibilité des éléments rétiniens, mais produit en même temps la migration du pigment qui les étrangle et diminue par conséquent leurs dimensions. Deux cas peuvent alors se présenter. Dans le premier la lumière du tout petit objet lui-même est assez grande pour que l'influx nerveux dû à un cône, même fatigué par la lumière ambiante, suffise à exciter une cellule cérébrale ; dans ce cas les cônes peuvent rester isolés, et l'acuité visuelle augmente par diminution d'étendue du territoire indépendant.

Dans le second cas la lumière du tout petit objet est trop faible, alors les cônes devront se grouper par les connexions horizontales de Ramon y Cajal de manière qu'une cellule centrale reçoive l'influx nerveux de plusieurs d'entre eux. Dans ces conditions l'étranglement de chaque cône dû à la lumière ambiante n'aura plus d'importance, et le groupement devra se faire par un plus grand nombre de cônes sur une même cellule si la fatigue intervient ; et l'acuité visuelle baissera.

e. Inertie rétinienne relative au sens des formes ; vision des traits (en commun avec M. Sulzer) (voir 3ᵉ partie B, §§ 2 et 3). — Nous avons montré que l'isolement des éléments rétiniens, indiqué ci-dessus, met un temps notable à se produire, temps d'autant plus long que l'isolement exigé par la distinc-

tion des traits présentés à l'œil est plus parfait, et que la lumière agissante est plus faible. La segmentation rétinienne se fait autour du point de fixation, et se propage autour de ce point avec une vitesse de 1^{mm},5 environ par seconde.

f. Inertie rétinienne relative au sens des formes; vision des lettres (en commun avec M. SULZER) (voir 3e partie B, § 4). — En reprenant les mêmes expériences avec des lettres, nous avons vu que l'acte psychique relatif à la reconnaissance d'une lettre prend un temps appréciable, d'autant plus grand que le caractère à lire est plus complexe. Nous en avons conclu que les lettres de notre alphabet pourraient aisément être remplacées par des lettres meilleures au point de vue de la vitesse de lecture.

§ 2. — **Ophtalmométrologie.**

a. Vision des astigmates corrigés (voir 4e partie, 1°). — Ce travail établit que les objets dans l'œil astigmate corrigé subissent une déformation systématique à cause de la position du verre correcteur au foyer antérieur de l'œil, ce qui explique l'embarras qu'éprouvent souvent les astigmates corrigés pour descendre des trottoirs, dans les premiers temps de leur correction.

b. Variation de l'acuité visuelle des astigmates dans les divers azimuts (voir 4e partie, § 2). — J'ai déduit de mesures faites relativement à ce phénomène déjà signalé par d'autres, que la section des éléments rétiniens devait être légèrement allongée dans le sens de la traction la plus grande due à l'action du muscle ciliaire lors de la compensation accommodative de l'astigmatisme.

c. Compensation accommodative de l'astigmatisme (en commun avec M. SULZER) (voir 4e partie, § 3). — La nature de cette compensation a été très controversée. Nous avons pu prouver que, au moins pour mon œil droit, la compensation se faisait par une déformation statique irrégulière du cristallin. Le procédé employé a été celui de l'ombre pupillaire. L'accommodation irrégulière se fait par une série de tâtonnements assez lents.

d. Angle limite de numération des objets et mouvements des yeux (avec M. SULZER) (voir 4e partie, § 4). — Nous avons montré que la faculté de compter les objets disparaissait longtemps avant qu'on cessât de les distinguer, et cela d'autant plus tôt que le nombre des objets est plus grand.

e. La vision des signaux colorés et les épreuves de la dyschromatopsie (voir 4e partie, § 5). — J'ai montré, en employant la théorie des projecteurs, que, au delà d'une certaine distance, les signaux optiques donnaient l'impression d'une tache de diamètre apparent constant, mais d'éclat variable en raison inverse du carré des distances.

Donc, à la limite, la couleur cessera d'être distinguée quand l'éclat sera

dans l'intervalle photochromatique. On peut réaliser l'expérience en employant un tout petit trou devant une flamme dans une chambre noire. Ce dispositif permet d'étudier la dyschromatopsie, même réduite à un commencement de scotome central, ce que les épreuves actuelles ne permettent pas de faire.

§ 3. — Muscle.

a. Variation thermique négative (en commun avec M. Ch. Richet) (voir 5e partie A, § 1 et 2). — Nous avons étudié en détail les conditions dans lesquelles se produit le refroidissement du muscle qui se contracte. Nous avons observé qu'il se produisait principalement dans le cas du muscle privé d'oxygène. Cela peut s'expliquer soit par des variations de circulation ou la mise en jeu de phénomènes élastiques endothermiques, comme l'a indiqué M. Chauveau, soit par la production dans ce cas de phénomènes physico-chimiques endothermiques dans la contraction musculaire. Cette dernière hypothèse doit être partiellement vraie, car, lorsqu'on fait travailler électriquement un muscle de chien sous l'asphyxie, on peut arriver, si le poids soulevé est assez fort et le temps de travail suffisamment prolongé, à voir la contraction cesser complètement malgré la répétition des excitations. Cela se produit chez le chien après 5 ou 6 minutes d'excitation sous asphyxie, la température rectale étant de 25° environ.

Dans ce cas on peut ramener l'animal à la vie par la respiration artificielle, et cependant la fonction du muscle ne se rétablit pas, il est dans un état de rigidité complète.

Nous avons appelé cette contraction du nom de *contraction anaérobie*. Nous avons déduit de là la conséquence pratique que, dans les myopathies d'origine vasculaire, le repos devait être le traitement primordial.

b. Expériences ergométriques pour mesurer la puissance maximum d'un muscle en régime permanent (en commun avec M. Ch. Richet) (voir 5e partie A, § 3). — Nous avons, au moyen d'un ergomètre particulier, pu étudier dans des expériences de longue durée le travail maximum que l'index peut donner en régime permanent, quand on fait varier le rythme des contractions et la grandeur du poids soulevé. Nous avons pu définir dans ces conditions l'existence d'un régime permanent maximum, défini à un dixième près de sa valeur, quand on produit la plus forte somme de travail dont on est capable. Ce régime, qu'on ne peut dépasser sans être arrêté par des crampes, peut se soutenir pendant plusieurs heures. Les conditions du maximum de puissance développée sont les suivantes : poids compris entre 700 et 1 200 grammes, fréquence de 250 par minute. Mais il ne faut pas dépasser sensiblement ces limites ; qu'on augmente le poids ou la fréquence un peu notablement, et la

puissance tombe tout de suite à une valeur très faible. Ces conclusions ont été vérifiées par M. Trèves sur le biceps.

c. Influence des intermittences sur le régime continu maximum (en commun avec M. Ch. Richet) (voir 5ᵉ partie A, § 4). — Nous avons eu alors l'idée de voir si, quand, au lieu d'imposer au muscle une série ininterrompue de contractions périodiques, on lui permet de prendre des repos rythmés, la puissance moyenne maximum ne devenait pas plus grande. Cela n'était pas évident *a priori*, car si chaque contraction peut ainsi augmenter, le nombre des contractions par minute diminue, et le travail moyen peut être augmenté ou diminué suivant que l'un des facteurs ou l'autre l'emporte. Nous avons trouvé les résultats suivants, variables avec les conditions.

Quand le poids soulevé est faible (moins de 500 grammes), les intermittences sont défavorables. Quand le poids est moyen (500 à 1 000 grammes), les intermittences sont indifférentes. Quand le poids est fort (au-dessus de 1 000 grammes), les intermittences sont favorables.

Les conditions du maximum sont réalisées avec un poids très fort (1 500 grammes), un rythme donné par un métronome battant 200 coups par seconde, et des alternances de repos et de travail de 2 secondes.

§ 4. — Système nerveux.

a. Période réfractaire des centres nerveux (en commun avec M. Ch. Richet) (voir 5ᵉ partie, B, § 1). — Nous avons montré, en excitant électriquement le cerveau d'un animal endormi par le chloralose, que, à la suite d'une excitation, l'excitabilité suit une loi parfaitement déterminée. Quand deux excitations sont à moins de 0^{sec},02 l'une de l'autre, leurs effets s'ajoutent. Quand au contraire elles sont à un intervalle compris entre 0^{sec},02 et 0^{sec},1, la deuxième est nulle et non avenue. Cela se passe seulement quand l'excitation ne donne pas encore la réponse maxima.

Nous avons donné à la période d'inexcitabilité le nom de *période réfractaire*, à cause de l'analogie avec ce que Marey avait démontré dans la contraction du muscle cardiaque et le nom de *période d'addition* à la première période.

Quand, au lieu d'envoyer seulement deux excitations consécutives, on envoie une série d'excitations rythmées, on voit l'animal répondre quand la fréquence augmente progressivement, d'abord à toutes les excitations, puis à une excitation sur deux, puis à une sur trois, puis à une sur quatre, etc. Ces phénomènes sont explicables au moyen d'une assimilation mécanique, dont je dirai un mot dans la seconde partie de cet exposé.

La période réfractaire, terminée au bout de 0^{sec},1 chez le chien à la tempé-

rature normale, dure jusqu'à $0^{sec},7$ chez l'animal refroidi aux environs de 25° dans le rectum.

Cette période de retour à l'équilibre du système nerveux exige que deux actes volontaires soient séparés l'un de l'autre par un temps au moins égal à celui de cette période, pour que le second puisse être bien coordonné. Nous avons vérifié qu'on ne peut penser plus de dix articulations par seconde, ni exécuter, même dans le trille musical, plus de 10 notes par seconde, d'une manière régulière.

b. Temps perdu des réflexes chez le chien (en commun avec Ch. Richet) (voir 5ᵉ partie B, § 2). — L'étude de la période réfractaire nous ayant montré une variation de cette période avec la température, et la théorie nous ayant montré que cela est probablement corrélatif de la vitesse même de fonctionnement de la cellule grise, nous avons cherché s'il n'y avait pas une corrélation entre la courbe de la variation de la période réfractaire en fonction de la température et celle de la variation du temps perdu des réflexes. Nous avons tracé cette dernière courbe chez le chien chloralosé ; elle a exactement la même forme que celle de la période réfractaire.

La résistance du système nerveux est à peu près parfaite jusqu'à 35° de température rectale ; à partir de ce moment, l'allongement du temps augmente très rapidement montrant ainsi que l'organisme est vaincu.

c. Rayons N (en commun avec M. Zimmern) (Comptes Rendus, 1904). — Nous avons observé au moyen du sulfure phosphorescent, des points du dos qui produisent sur le sulfure une augmentation de luminosité. Nous avons attribué cela à des centres d'activité de la moelle. Beaucoup d'attaques ont été dirigées contre ce mode de recherches, attribuant le résultat uniquement à des phénomènes de suggestion. L'élimination de ceux-ci est certes d'une difficulté extrême. Je crois cependant avoir réussi à la réaliser dans ce que je viens de mentionner. J'ai en effet vérifié nos résultats pendant plusieurs mois sur un chien, dont le dos portait quatre traces à l'encre indiquant les points mentionnés ci-dessus. La recherche de ces points dans la chambre noire me faisait tomber juste 8 fois sur 10. On pouvait se demander si le toucher seul ne pouvait pas suffire à placer le tube de recherche exactement sur les points marqués. J'ai opéré de cette façon, en me contentant de chercher par la luminosité le point exact dans la région présumée. Je tombais 8 fois sur 10 sur un point marqué, mais rarement sur celui que je cherchais. J'ai cependant abandonné ces recherches pour l'instant, le procédé actuel étant beaucoup trop délicat pour pouvoir être couramment pratiqué.

§ 5. — Acoustique.

Influence de l'intensité sur la hauteur du son (voir 5ᵉ partie, C). — Dans la

lumière nous distinguons une quantité, et une qualité que nous appelons sa couleur. La couleur dépend essentiellement de la période de vibration de la lumière, mais elle dépend aussi accessoirement de son intensité. De la lumière spectrale verte, par exemple, tend vers le blanc quand elle est suffisamment faible (existence de l'intervalle photochromatique de Charpentier); de même elle tend encore vers le blanc quand son intensité devient considérable (image aérienne d'un spectre dû à l'arc électrique). J'ai pensé qu'il devait en être de même pour le son, et j'ai constaté que le son d'un même diapason semble monter de 1/5 de ton quand il s'affaiblit assez pour être difficilement perçu ; la notion physiologique de hauteur subit une petite variation du chef de l'intensité. Il y a donc pour le son une loi tout à fait analogue à celle qui existe pour la lumière ; l'exactitude des perceptions relatives aux périodes est modifiée d'une manière sensible par l'intensité de la cause excitatrice.

§ 6. — **Divers.**

a. Sur la mise au point du tube de Crookes à osmorégulateur pour les bobines puissantes (*Archives d'électricité médicale,* 1901). — Normalement, un tube de Crookes durcit en fonctionnant, c'est-à-dire que son étincelle équivalente augmente. Il suffit alors pour le restaurer de faire entrer du gaz par l'osmorégulateur. Mais il arrive parfois, quand on le fait fonctionner d'une manière très puissante, qu'il vient à se ramollir. Les gaz ainsi dégagés anormalement peuvent être éliminés par un fonctionnement assez long à petit régime. Quand on augmente de nouveau le régime, l'étincelle baisse de nouveau, mais moins que la première fois ; on peut alors, en faisant accomplir au tube une série de cycles analogues, arriver à le mettre au point pour la bobine employée, c'est-à-dire à lui donner le durcissement normal de marche, dont on est maître par l'osmorégulateur.

b. Souvenirs d'un électrocuté (*Revue scientifique,* 1901). — Dans le cours des études sur les hautes fréquences, qui seront indiquées ci-dessous, j'ai été une fois exposé accidentellement à un courant alternatif à 42 périodes par seconde, obtenu sur le secondaire d'une bobine d'induction dans le primaire de laquelle se dépensaient environ 5 chevaux-vapeur sous forme de courant alternatif. Le courant, de 600 milliampères environ, passait d'une main à l'autre et a duré quelques secondes seulement. J'ai été paralysé du haut du corps pendant un temps d'autant plus long que la densité de courant au point considéré avait été plus forte. La paralysie des bras a disparu au bout de 1/2 heure ou 3/4 d'heure ; la plus longue a été celle des interosseux. Trois heures après sont apparus des accidents cardiaques graves, qui ont duré

plusieurs heures. Sans avoir de notion bien certaine à leur sujet, je les attribuerais volontiers à des toxines produites pendant la tétanisation violente qu'ont éprouvée les membres durant le passage du courant. L'expérience répétée sur des chiens dans les mêmes conditions ne leur a donné aucun accident consécutif notable.

c. Mesure directe des courants faradiques. — On en est réduit le plus souvent à faire des mesures sur le primaire de la bobine d'induction. Les galvanomètres à courant alternatif ne sont pas en effet assez sensibles pour permettre la mesure des courants induits ; il n'en est pas de même des galvanomètres à courants continus. Divers essais ont été faits pour redresser les courants induits et les envoyer dans un de ces galvanomètres ; j'ai combiné un appareil pratique et fidèle en actionnant un commutateur au moyen d'une dynamo, l'axe de l'appareil portant lui-même un contact métallique qui produit la fermeture et la rupture du primaire. Dans ces conditions on voit que le seuil de sensation pour la bobine à gros fil a lieu pour une intensité moyenne plus grande que pour la bobine à fil fin ; il en est encore de même pour les seuils moteurs, mais le rapport des seuils moteurs est plus grand que celui des seuils sensitifs, ce qui explique la douleur plus grande due à la bobine à fil fin à égalité de contraction.

En coupant le circuit par un condensateur, ce qui change tout à fait les conditions, nous avons eu pour les intensités moyennes correspondant au seuil les résultats suivants :

CONDENSATEUR EN DÉRIVATION	ÉLONGATION DU GALVANOMÈTRE
1 microfarad.	15 millimètres.
0,5 —	7 —
0,2 —	0,5 —
0,1 —	0,3 —

La courbe relative aux trois premiers chiffres est à peu près une droite ; elle a cependant une certaine inflexion qui explique la variation beaucoup moins rapide du seuil quand la capacité qui coupe le circuit devient faible.

C. — TRAVAUX DE VULGARISATION

On verra plus loin (7e Partie B) la liste des principaux travaux, un seul d'entre eux nous arrêtera ici un instant.

Précis de physique médicale (voir 6e partie). — Faisant partie de la Bibliothèque du Doctorat en médecine de MM. Gilbert et Fournier (1906).

On verra plus loin quelques détails sur le plan de cet ouvrage qui représente le résultat de l'expérience acquise en six années d'enseignement fait à la

Faculté de médecine, au moment même où le changement des programmes (création du P. C. N.) permettait aux physiciens de donner à leurs leçons un caractère exclusivement médical, mais exigeait d'eux un travail considérable de mise au point. Je me suis efforcé d'en élaguer tous les développements touffus, et d'y mettre toutes les applications de la physique utiles à connaître pour la pratique rationnelle de la médecine. Le premier principe appliqué dans cet ouvrage a été la suppression presque complète des formules, qui rendent pénible la lecture d'un livre pour ceux qui n'y sont pas rompus, et qui, pour les applications médicales, sont le plus souvent inutiles. La plupart des faits de la physique, quand on ne veut pas en tirer des applications numériques délicates, sont susceptibles d'une explication concrète, que je me suis efforcé de donner dans chaque cas particulier.

On trouvera ci-dessous avec un peu plus en détail (6e partie), pour ceux que la question de cet enseignement intéresse, les autres principes qui ont présidé à la rédaction de l'ouvrage.

D. — RECHERCHES PHYSIQUES

§ 1. — Instrumentation.

a. Galvanomètre absolument astatique et à grande sensibilité. — C'est un galvanomètre à aiguilles verticales présentant en leur milieu des points conséquents de noms contraires. M. Gray en Angleterre avait constitué des équipages au moyen de deux aiguilles verticales ordinaires ; M. Pierre Weiss en France avait montré qu'on pouvait réaliser ainsi des sensibilités excellentes, mais avec des instruments extrêmement petits et difficiles à construire. L'emploi des aiguilles à points conséquents de noms contraires m'a permis de réaliser aisément des sensibilités très grandes avec un astatisme supérieur à celui de tous les autres systèmes. De plus ces appareils gardent très longtemps leur sensibilité, ce qui n'est pas le cas des équipages à aiguilles horizontales. Ce galvanomètre est actuellement très répandu en France et en Angleterre.

b, Spectroscope à déviation fixe (en commun avec M. Pellin). — Nous avons combiné un spectroscope dont les prismes sont tels que le rayon lumineux subit à l'intérieur une réflexion totale convenable. Dans ces conditions le rayon qui donne la netteté maxima a une direction perpendiculaire au rayon incident. La rotation du prisme permet de faire défiler tout le spectre au réticule d'une lunette fixe. Ce système s'applique très aisément à la construction de spectroscopes multiprismatiques où les

mouvements sont très simples, et où l'utilisation des faces est parfaite. Ce spectroscope dont un seul modèle a été réalisé en France se répand actuellement en Angleterre, où il est construit par M. Hilger.

c. Photomètre universel (en commun avec M. Blondel). — Les études mentionnées (ci-dessus, 1re partie, B, § 1-a) ont motivé ma collaboration avec M. A. Blondel pour la réalisation d'un photomètre pratique permettant toutes les mesures utiles dans l'industrie. On sait combien sont difficiles les mesures d'éclat intrinsèque en particulier, surtout dans le cas d'une surface inaccessible. Nous avons pu combiner un instrument permettant cette mesure en même temps que celle de l'éclairement en un point d'une salle (principe de l'appareil de M. Mascart). Les mesures sont rendues très commodes et très précises par l'emploi de l'œil de chat de M. Blondel et de la vision binoculaire.

Indications bibliographiques.

Galvanomètre absolument astatique et à grande sensibilité.

Comptes rendus, tome CXXIII, page 101.
Article au *Journal de physique*, 3e série, tome VI, page 67.

Sur un spectroscope à grande dispersion et déviation fixe.

Journal de physique, 3e série, tome VIII, page 314 (en commun avec M. Pellin).

Photomètre universel.

L'Éclairage électrique, 23 janvier 1897 (en commun avec M. A. Blondel).

§ 2. — **Photométrie.**

a. Vision binoculaire en photométrie. — J'ai montré que l'on augmente considérablement la sensibilité des comparaisons photométriques en opérant par vision binoculaire, mais que l'emploi des deux yeux amène une cause d'erreur tenant à leur inégale sensibilité, qui est fréquente, et à l'irrégularité des courbes de diffusion. On peut supprimer cet inconvénient en opérant par la méthode de substitution ou bien en envoyant aux deux yeux, au moyen d'un système de miroirs convenables, la lumière émanée des diffuseurs dans une direction normale. Le photomètre pratique combiné d'après ce principe, en commun avec M. Blondel, a mis en œuvre ce résultat de la théorie. C'est

une conséquence du travail (voir ci-dessus B, § 1-a) qui m'a permis de poser le principe qu'on doit observer binoculairement les éruptions cutanées.

b. Sur la découverte des étoiles photographiques. — J'ai donné enfin une explication de la raison pour laquelle l'œil perçoit sur la plaque photographique les impressions dues à certaines étoiles, invisibles par l'observation directe. Cela tient à ce que l'œil et la plaque photographique n'ont pas les mêmes lois de sensibilité et que, grâce à la forme de la fonction photographique on arrive, par des impressions assez faibles et assez longtemps prolongées, à donner aux deux plages voisines une fraction différentielle aussi grande qu'on le veut.

c. Rapport sur la photométrie. — C'est un rapport demandé en 1895-1896 par l'Association française pour l'avancement des sciences, sur la question de la photométrie, mise à l'étude par la section de physique. Ce rapport a donné lieu à des communications de MM. de la Baume-Pluvinel, A. Blondel, Charpentier, Chassevant, Crova, Féry, Guillaume, Macé de Lépinay et Nicati, Violle. Le rapport et les communications ont été réunis en une brochure séparée, annexée aux travaux du Congrès de Carthage.

Indications bibliographiques.

Études physiologiques, physiques et cliniques sur la vision des éruptions cutanées.

Thèse pour le doctorat en médecine, Paris, 1893.

Sur les sensations visuelles et la photométrie.

Journal de physique, 3e série, tome III, page 206.

Rapport sur la photométrie.

Association française pour l'avancement des sciences, Congrès de Carthage, 1896.

Sur quelques conditions à réaliser en photométrie.

Association française pour l'avancement des sciences, Congrès de Carthage, 1896.

Sur la découverte des étoiles photographiques.

Revue générale des sciences, 1894, page 310.

§ 3. — Etudes mathématiques d'optique géométrique.

a. Aplanétisme et achromatisme des systèmes épais. — J'ai pu établir par le calcul quelques propriétés générales des systèmes optiques au point de vue des aberrations de sphéricité et des aberrations chromatiques. On sait que, quand un faisceau homocentrique rencontre une surface réfringente suivant une zone définie par une certaine ouverture angulaire très petite, l'aberration de sphéricité est en général du second ordre par rapport à cette ouverture angulaire, quel que soit le nombre des surfaces, centrées sur la première, qui forment avec elle un système optique. J'ai montré qu'il y a toujours un certain nombre de points, réels ou imaginaires, pour lesquels l'aberration devient du 4e ordre, ce sont les points aplanétiques du système. On ne peut arriver à avoir des points aplanétiques aux environs du foyer d'une lentille homogène que par l'emploi de très grandes épaisseurs.

J'ai ensuite étudié les conditions d'achromatisme de ces systèmes, sur lesquelles je n'insisterai pas ici.

b. Forme de la surface focale d'un système épais aux points aplanétiques. — Enfin j'ai cherché la condition pour que l'image d'une surface plane soit sensiblement un plan, dans le cas où le pied du plan sur l'axe est un point aplanétique. Dans le cas d'un système de lentilles, la condition est que la somme des puissances des dioptres composants soit nulle, ce qui n'implique aucunement d'ailleurs que le système soit sans puissance, l'épaisseur des milieux qui le composent entrant en jeu. L'ensemble de toutes ces propriétés a été vérifié par un objectif aimablement construit par M. Baille.

Indications bibliographiques.

Sur l'aplanétisme.

Comptes rendus, tome CXIV, page 168.

Sur l'achromatisme.

Comptes rendus, tome CXIV.

Aplanétisme et achromatisme.

Journal de physique, 3e série, tome I, page 147.

Sur la courbure de la surface focale dans les systèmes centrés.

Journal de physique, 3e série, tome IV, page 254.

§ 4. — **Études mathématiques relatives aux champs de force.**

a. Sur la transmission d'énergie à distance. — C'est la recherche des conditions que doit réaliser un champ de force pour que la force dans une région ne dérive pas d'un potentiel. En étudiant l'ellipsoïde de variation de la force autour d'un point, on voit aisément que cela a lieu quand le milieu ne jouit pas de l'égalité symétrique de Duhamel, c'est-à-dire quand il y a une direction telle que les deux sens sur cette direction ne sont pas indifférents. Cette condition ne peut se réaliser que quand il y a en ce point un flux d'énergie, comme dans le champ électromagnétique (vecteur de M. Poynting) et si de plus ce flux d'énergie est tranformé, comme dans le cas des conducteurs électriques, ou dans le cas du régime variable.

b. Sur les masses vectorielles de discontinuité. — J'ai également étudié les conditions de l'existence des masses vectorielles de surface de M. Vaschy. Elles sont nulles, d'après un théorème de Maxwell, dans le cas du champ électrique qui dérive d'un potentiel, si on admet que le potentiel de part et d'autre d'une surface de discontinuité de la force est continu ou du moins qu'il y a une différence de potentiel constante entre les deux corps séparés par la surface. Dans ce cas la composante normale seule de la force est discontinue. Dans le cas où la force ne dérive pas d'un potentiel, la discontinuité de la force seule n'est pas non plus suffisante pour qu'il existe des masses vectorielles de M. Vaschy, il faut que de part et d'autre de la surface de discontinuité de la force les deux champs aient une indépendance plus grande liée à l'existence de la discontinuité tangentielle.

Indications bibliographiques.

Sur la transmission d'énergie à distance. — Application à la polarisation rotatoire magnétique.

Comptes rendus, tome CXXV, page 765.

Sur le principe de l'égalité de l'action et de la réaction.

Comptes rendus, tome CXXIX, page 1016.

Champs de vecteur et champs de force. — Action réciproque des masses scalaires et vectorielles. — Énergie localisée.

Comptes rendus, tome CXXX, page 109.

Sur les masses vectorielles de discontinuité.

Comptes rendus, tome CXXX, page 317.

§ 5. — Etudes expérimentales sur les décharges dans les gaz et le phénomène de M. Zeeman.

a. Rayons cathodiques de seconde espèce et phénomène de M. Zeeman. — M. Zeeman avait montré que la flamme du sodium placée dans le champ magnétique devenait le siège de phénomènes nouveaux, chaque radiation étant transformée en un triplet dû à trois composantes de réfrangibilités différentes, l'une circulaire droite, l'autre circulaire gauche et la troisième polarisée perpendiculairement au champ magnétique, ayant par conséquent sa force électrique suivant le champ. J'ai pensé qu'on devait voir ce phénomène en dimensions directement perceptibles si on s'adressait à des gaz très raréfiés conduisant des charges, où le libre parcours des molécules est rendu très grand par l'orientation du mouvement. On savait que les rayons cathodiques s'enroulent autour du champ, ce qui rend compte de la possibilité des rayons circulaires. J'ai repris la question avec une ampoule de forme spéciale, et j'ai vu que les rayons cathodiques ordinaires s'enroulent autour du champ suivant des hélices à pas variables, les uns très courts, les autres très longs, puis que, pour une certaine valeur du champ, naît brusquement un faisceau de rayons cathodiques qui suit exactement les lignes de force. J'ai donné à ces rayons le nom de : *Rayons cathodiques de seconde espèce*.

b. Conservation de la période de la lumière absorbée par le fer et la liqueur de Thoulet dans le champ magnétique. — Cette étude expérimentale a montré que, dans le cas où la lumière traverse le champ magnétique en y étant absorbée par un milieu jouissant de la rotation magnétique, liqueur de Thoulet, ou même lame de fer, aucun changement de période n'avait lieu. Un théorème sur l'égalité symétrique indiqué ci-dessus montrait qu'il était permis dans ce cas de chercher le phénomène. L'expérience m'a montré que cependant dans l'absorption ordinaire de la lumière, même par les milieux rotatoires magnétiques, le phénomène de M. Zeeman ne se produit pas.

c. Rayons anodiques. — En étudiant la décharge dans le vide extrêmement poussé entre deux pointes de platine très voisines situées au milieu d'une ampoule, on voit jaillir, outre quelques rares rayons cathodiques, une étincelle disruptive présentant les raies du platine. Simultanément, on voit la pointe positive se creuser en cratère et la paroi du tube se métalliser, principalement dans l'hémisphère situé autour de la cathode. En mettant au champ magnétique ces décharges composées de particules métalliques électrisées et animées de vitesses, on voit qu'elles sont déviées comme le veut le sens de leur vitesse et leur charge positive. Ce sont donc bien là des *rayons anodiques*.

d. Décharge de haute fréquence entre fils de platine (en commun avec M. Turchini). — Nous avons étudié dans ce travail la formation des gaines

lumineuses cathodiques qui se produisent sur les fils métalliques placés dans l'atmosphère et servant d'éclateur à la décharge de haute fréquence qui passe à travers une self-induction notable. Nous avons pu montrer que le fil muni d'une gaine de cette espèce devenait une véritable soupape ne laissant passer que la décharge négative. Les particules chargées sont formées d'oxyde de platine.

Quand la décharge devient plus intense, le fil rougit, la gaine persistant cependant ; à ce moment, la décharge positive prend la prédominance. En plaçant la décharge dans un champ magnétique on voit dans le premier cas que l'émission de la gaine est formée uniquement de particules négatives, et dans le second de particules des deux signes.

Indications bibliographiques.

Sur le mécanisme de la polarisation rotatoire magnétique.

Comptes rendus, tome CXXV, page 696.

Quelques propriétés des cathodes placées dans un champ magnétique puissant.

Comptes rendus, tome CXXVI, page 736.

Quelques propriétés des décharges électriques produites dans un champ magnétique.

Comptes rendus, tome CXXVI, page 823.

Article sur le même sujet. — Au *Journal de physique,* 3e série, tome VII, page 710.

Décharge disruptive dans le vide. — Formation de rayons anodiques.

Comptes rendus, tome CXXVIII, page 356.

Sur les formes de la décharge de haute fréquence entre fils de platine de faible diamètre (en commun avec M. Turchini).

Comptes rendus, tome CXXXVIII, page 1489.

§ 6. — Mesures expérimentales de quelques périodes de décharges électriques.

a. Durée de la décharge du tube de Crookes. — En appliquant un procédé

purement électrique, j'ai pu voir par un calcul simple que la décharge dans un tube à rayons X dure un temps appréciable : $0^{sec},0005$ quand l'étincelle équivalente est supérieure à 12^{c} (tube Chabaud), et des temps de plus en plus longs, mais toujours du même ordre de grandeur, pour les tubes à étincelle équivalente moindre.

b. Chronophotographie de la décharge du tube de Crookes (en commun avec M. Turchini). — Nous avons pu, par l'emploi de plaques Lumière extra-sensibles spéciales (3 ou 4 fois plus sensibles que les Σ), photographier une toute petite étincelle en série avec le tube de Crookes. Nous avons ainsi vérifié les résultats de l'étude précédente.

c. Mesure des phénomènes périodiques du primaire de la bobine d'induction (en commun avec M. Turchini). — Ayant besoin, pour montrer la constance du temps de décharge du tube de Crookes malgré les variations du circuit, de connaître les constantes de nos bobines, nous avons étudié celles-ci au moyen de l'ondographe d'Hospitalier, qui permet d'enregistrer les courbes de l'établissement des intensités et des différences de potentiel dans un circuit. Je ne puis ici donner d'indications sur cet appareil assez compliqué; nous avons pu, par son moyen, étudier les divers phénomènes périodiques des primaires des bobines.

d. Mesure de la période de l'antenne de la télégraphie sans fil (en commun avec M. Turchini). — Nous avons pu, au moyen des appareils qui vont être indiqués ci-dessous, mesurer ces périodes, et nous avons vérifié que, dans les limites de nos étalonnages, les antennes vibrent en quart d'onde avec une faible perturbation aux extrémités.

Indications bibliographiques.

Étude du primaire de la bobine d'induction au moyen de l'ondographe de M. Hospitalier.

Société des électriciens, 1904, page 235 (en commun avec M. Turchini).

Sur les phénomènes de l'antenne de la télégraphie sans fil.

Comptes rendus, tome CXXXVI, page 1644 (en commun avec M. Turchini).

Sur la durée de la décharge du tube à rayons X.

Comptes rendus, tome CXLII, page 271.

Étude photographique de la durée de la décharge dans un tube de Crookes.

Comptes rendus, tome CXLII, page 445 (en commun avec M. Turchini).

§ 7. — Étude des courants de haute fréquence. Pouvoir inducteur spécifique des métaux.

J'ai groupé, pour arriver à déterminer le pouvoir inducteur spécifique des métaux et des électrolytes, toute une série de déterminations expérimentales, sur lesquelles j'ai dû édifier une théorie mathématique nouvelle. Je ne donnerai donc pas, en les détaillant séparément, toutes les expériences et les calculs relatifs à cette question, mais je vais l'exposer dans son ensemble, les indications bibliographiques montrant les diverses étapes parcourues.

Je m'étends cependant un peu davantage sur ces études physiques qui me paraissent plus importantes que les autres, car elles semblent établir sur des bases solides la notion que les conducteurs, métaux et électrolytes, ont, conjointement avec leur conductibilité, un pouvoir inducteur spécifique extrêmement élevé.

On divisait autrefois les corps en deux classes absolument distinctes au point de vue électrique : les conducteurs, et les diélectriques ; les premiers étant le siège de courants qui les chauffent et qui agissent sur un aimant, les seconds empêchant le courant continu de se produire. Maxwell a montré que les diélectriques, quand ils sont le siège d'une force électrique variable, donnent lieu à des courants qui agissent sur l'aiguille aimantée, mais qui s'arrêtent aussitôt que le régime permanent est établi. Il a posé les équations générales qui régissent la propagation d'une onde électromagnétique, et a trouvé que cette propagation dépend du pouvoir inducteur spécifique du milieu, et de sa conductibilité. En supposant la conductibilité nulle, on trouve les équations de la théorie électromagnétique de la lumière, le pouvoir inducteur étant le carré de l'indice de réfraction pour les ondes considérées. En supposant au contraire le pouvoir inducteur spécifique nul, on trouve l'équation de conduction pure qui jusqu'ici semblait s'appliquer exactement aux métaux et aux électrolytes.

Une première observation faite en 1901 en commun avec M. Turchini nous avait montré que la conductibilité dans les électrolytes n'est pas une chose absolue, et qu'on peut produire dans ceux-ci une véritable étincelle disruptive. Nous avions vu ce phénomène en plaçant sur un circuit de courant de haute fréquence un éclateur composé de deux boules de cuivre plongées dans le sulfate de cuivre. Quand l'étincelle caractéristique des hautes fréquences jaillit dans l'air, elle est accompagnée d'une étincelle de même nature dans l'électrolyte. En même temps le métal est pulvérisé en particules assez fines pour flotter à la surface du liquide, maintenues par la tension superficielle, quand elles y sont projetées. Dans l'eau acidulée, le même effet se produit. Les électrolytes manifestent donc, au point de vue de la rupture, les

mêmes propriétés que les diélectriques, quand il sont soumis à des impulsions électriques assez brusques.

J'ai pensé, en présence de ce fait, que dans les métaux on pourrait peut-être mettre en évidence, par l'intermédiaire des hautes fréquences, la propriété diélectrique, et que le meilleur procédé pour cela était l'étude de la résistance électrique présentée pour ces courants par les fils métalliques.

Lord Kelvin avait trouvé, en supposant nul le pouvoir inducteur spécifique, la formule qui donne la résistance d'un fil cylindrique pour un courant de période donnée. Cette formule n'avait pas, jusqu'ici, été soumise au contrôle systématique de l'expérience. J'ai fait ce contrôle en collaboration avec M. Turchini, et nous avons été assez heureux pour trouver entre la formule et l'expérience des différences notablement plus grandes que nos erreurs inévitables, accusant un écart systématique.

Pour cette étude expérimentale qui a duré quatre ans, nous ne pouvions employer les appareils connus et nous avons dû créer de toutes pièces l'instrumentation ; d'abord un électrodynamomètre pour les courants de haute fréquence permettant de mesurer leur intensité efficace sans employer l'échauffement, puis deux calorimètres susceptibles de donner des indications pour les très faibles quantités de chaleur dégagées dans les fils en expérience. Il a fallu ensuite obtenir des courants de haute fréquence assez constants pour permettre de les mesurer, nous y sommes arrivés au moyen d'un éclateur de forme particulière assurant une régulation automatique. Enfin nous avons dû mesurer avec soin les capacités des bouteilles de Leyde qui nous ont servi, pour les fréquences mêmes que nous avons utilisées. Comme le pouvoir inducteur spécifique du verre varie avec la fréquence, nous avons dû déterminer cette constante directement. Nous donnerons plus loin quelques détails sur la méthode employée.

Les résultats obtenus par ce procédé sont compatibles avec l'hypothèse de l'existence dans les métaux d'un pouvoir inducteur spécifique considérable, en supposant que la conductibilité ne varie pas avec la fréquence. J'ai ainsi pu trouver pour le carré n^2 de l'indice de réfraction, dans le cas des ondes électriques qui présentent la fréquence de 3 millions par seconde, la valeur $n^2 = 10^{11}$ environ.

Ce résultat semble au premier abord incompatible avec ceux qui ont été obtenus par MM. Rubens et Hagen et M. Planck. MM. Rubens et Hagen ont mesuré le pouvoir réflecteur des métaux pour les ondes calorifiques qui possèdent une période aux environs de 10 trillions par seconde, et M. Planck a calculé ce pouvoir réflecteur au moyen de la formule de Cauchy en introduisant dans celle-ci la conductibilité métallique. Ce calcul a été conduit en faisant l'hypothèse $K = 0$, K étant le pouvoir inducteur spécifique, ce qui implique $n = 0$. Je l'ai repris en conservant le paramètre K, et j'ai vu que la

question comportait deux solutions : la solution $K = 0$ de M. Planck, et une autre solution tout à fait compatible avec mes idées. Avec les électrolytes j'ai obtenu des résultats analogues.

Indications bibliographiques.

Décharge disruptive dans lea électrolytes.

Comptes rendus, tome CXXXII, page 915 (en commun avec M. Turchini).

Électrodynamomètre de haute fréquence.

Association française pour l'avancement des sciences, Congrès d'Angers 1903.

Sur la variation du pouvoir inducteur spécifique du verre avec la fréquence.

Comptes rendus, tome CXL, page 780 (en commun avec M. Turchini).

Sur la résistance des fils métalliques pour les courants de haute fréquence.

Comptes rendus, tome CXL, page 1238 (en commun avec M. Turchini).
Communication sur le même sujet à la *Société de physique*.

Sur le pouvoir inducteur spécifique des métaux.

Comptes rendus, tome CXL, page 1677.
Erratum relatif à cette note, tome CXLI, page 80.
Nouvel erratum, page 1678, lignes 5 et 7 à partir du bas, lire $K\omega^2$ au lieu de $K^2\omega^2$.

Sur le pouvoir inducteur spécifique des métaux dans le cas des ondes calorifiques et lumineuses.

Comptes rendus, tome CXLI, page 24.

Sur la résistance des électrolytes pour les courants de haute fréquence.

Comptes rendus, 28 mai 1906 (en commun avec M. Turchini).

DEUXIÈME PARTIE

RECHERCHES CLINIQUES

§ 1. — Vision des éruptions cutanées.

Ce sujet sera traité ici avec quelques détails, à cause de ses conséquences pratiques.

L'étude spectroscopique des éruptions cutanées montre que les taches éruptives diffusent la lumière rouge exactement comme la peau saine. Les différences sont produites par la diffusion des couleurs très réfrangibles, celles-ci étant moins diffusées par les taches éruptives que par la peau saine. Tout se passe donc comme si, à deux plages de lumière bleuâtre peu différentes l'une de l'autre, on venait superposer une teinte uniforme qui lave le tout. Dans le cas qui nous occupe, cette teinte uniforme est rouge. Je l'ai appelée *teinte parasite*.

Le fait même que cette teinte parasite qui lave le tout, et par conséquent diminue la visibilité des plages différentes, est différente de la lumière de celles-ci, permet d'en supprimer l'effet nuisible. Il y a pour cela deux moyens : le premier consiste à photographier le sujet, puisque la plaque photographique est insensible au rouge ; le second consiste à absorber la lumière rouge par l'emploi d'un verre bleu Isly en ayant soin d'éclairer vivement le sujet. Nous verrons plus loin pourquoi il faut ajouter à cela la précaution d'opérer par vision binoculaire, ce qui double la sensibilité.

L'emploi du verre bleu Isly permet de voir des éruptions inobservables à l'œil nu, mais la théorie précédente, qui m'a amené à ce résultat, permet aussi de donner quelques conseils pour l'observation pratique des éruptions, même quand on n'a pas de verre bleu.

Il ne faut jamais observer une éruption dans une chambre tendue de rouge, ni à la lumière artificielle des lampes à pétrole ou à incandescence. Au contraire, la lumière artificielle du bec Auer qui contient beaucoup de vert est

favorable, et encore plus celle de l'arc électrique; je n'ai pas encore essayé celle de l'arc au mercure, qui est probablement très bonne.

La méthode présente certaines difficultés sur lesquelles il y a lieu d'insister.

L'examen de la figure doit toujours être fait avec circonspection, car si le sujet présente des taches de rousseur, même en faible quantité, il y en a toujours un grand nombre qui sont invisibles à l'œil nu, et qui deviennent visibles en s'armant du verre coloré.

De plus il faut se défier des marbrures que présente parfois la peau ; celles-ci deviennent souvent visibles au moyen du verre bleu. On les distingue des éruptions ordinaires en ce qu'elles s'anastomosent entre elles. Il faut habituer l'œil à cette forme, afin de ne pas la confondre avec une éruption.

Il faut faire grande attention pour ne pas confondre avec des taches éruptives les petites congestions développées sur certains points par le frottement, ou par des piqûres de parasites. Le mieux pour éviter les méprises est de regarder longuement, attentivement et à plusieurs reprises.

Enfin, les moindres malpropretés de la peau sont des causes d'erreurs grossières et fréquentes. Cela tient à ce que cette méthode ôte toute espèce de notion de couleur. La peau et tous ses accidents apparaissent sous forme d'un camaïeu bleu, rien ne distingue les diverses couleurs entre elles, tout se réduit à des changements d'intensité ; on ne distingue pas le noir du rouge. La seule difficulté de la méthode vient de sa sensibilité, il faut une certaine éducation pour s'en servir.

§ 2. — Résultats pratiques de l'emploi du verre bleu Isly dans l'observation des éruptions.

Ainsi qu'il a été déjà dit ci-dessus, trois questions principales peuvent se résoudre par l'emploi du verre bleu, ce sont :

1° Prévision d'une éruption avant que l'œil ne la révèle ;

2° Révélation des traces d'une éruption antérieure ;

3° Révélation d'une éruption fruste.

Enfin, il est un quatrième point que j'ai observé dans plusieurs cas de rougeole : il est relatif à la forme des bords des taches éruptives, que le procédé d'examen au moyen du verre bleu Isly permet de saisir d'une façon bien plus complète que l'examen direct à l'œil nu. Ces bords n'ont pas, dans la rougeole, le même aspect pendant toute l'évolution de la tache.

Les taches en évolution sont estompées, les taches en régression sont à bords nets, comme découpés à l'emporte-pièce. Le verre bleu permet de saisir ces caractères avec bien plus de netteté qu'à l'œil nu.

Rougeole. — Il suffit d'observer une éruption sortie de rougeole pour voir avec le verre bleu des taches bien au delà de la région que l'œil nu permet

de limiter. On peut se convaincre, en observant simplement ces cas-là que, en général, l'évolution révélable au moyen du verre bleu des taches morbilleuses dure 24 heures avant l'apparition à l'œil nu.

Dans le cas cependant des taches très fugaces, il semble que l'évolution invisible directement puisse être plus courte.

Les taches de la rougeole laissent sur la peau des traces que le verre bleu permet de reconnaître souvent après quinze à dix-huit jours. On peut, en voyant, au moyen du verre bleu, que des taches récentes prennent des bords nets, être prévenu du danger de la broncho-pneumonie.

Enfin on voit, en dehors des régions où l'éruption est évidente, des régions où le verre bleu révèle des taches qui ne deviennent jamais visibles à l'œil nu. On peut donc par le moyen indiqué caractériser des éruptions frustes.

Syphilis. — Je n'ai pas d'observations complètes relatives à la visibilité de la roséole au moyen du verre bleu avant son apparition à l'œil nu; mais l'emploi assez fréquent du procédé par divers syphiligraphes depuis plusieurs années a montré que l'on pouvait ainsi caractériser des roséoles douteuses. J'ai au contraire des observations me permettant d'affirmer que les roséoles sont encore visibles au moyen du verre dix jours après leur disparition complète à l'œil nu et il est probable que la visibilité est bien plus longue.

J'ai également observé un cas de syphilide pigmentaire disparue pour l'œil nu depuis quatre ans. Je me suis convaincu de l'existence véritable de ce stigmate extrêmement difficile à voir, de la façon suivante. Le malade se souvenait, disait-il, de la forme de la tache; celle-ci me semblait avoir la forme d'un croissant pointu d'un côté et arrondi de l'autre. Je l'ai alors dessiné pointu des deux bouts, et le malade a corrigé mon dessin. J'ai du même coup vérifié ainsi sa bonne foi et l'exactitude de mon observation.

J'ai pu, dans un cas de syphilis, observer une éruption très limitée qui est devenue visible, quoique fort difficilement, pendant une journée, alors que le verre bleu l'a laissé voir sur une étendue beaucoup plus grande pendant une semaine. Mais ce malade, qui était atteint de chancre de la verge depuis quinze jours quand les taches ont commencé à apparaître, avait en même temps une bronchopneumonie grippale. Je ne peux donc pas affirmer que l'éruption vue n'était pas une éruption sudorale. Il est cependant bien probable que c'était une roséole syphilitique fruste, car le malade est sorti au bout de six semaines sans avoir manifesté d'autre symptôme.

Cicatrices. — Il m'est arrivé une fois de reconnaître sur la peau des cicatrices de variole datant de 23 ans et devenues invisibles à l'œil nu. Dans d'autres cas, je n'ai pu reconnaître aucune trace de cette maladie. Cela n'est pas étonnant, car la cicatrisation peut laisser des traces plus ou moins importantes. Ce procédé d'examen pourrait rendre quelques services en médecine légale, pour déceler des traces de mauvais traitements habituels.

Eczéma. — J'ai vu, soit au moyen de la photographie, soit au moyen du verre bleu, des éruptions d'eczéma vingt-quatre heures avant leur apparition à l'œil nu.

§ 3. — **Emploi de l'arc au fer en photothérapie** (en commun avec M. A. Chatin).

Finsen ayant montré l'avantage qu'on pouvait retirer de la photothérapie, nous avons cherché à réaliser un appareil plus simple et moins coûteux que le sien. On emploie habituellement dans ce procédé un arc électrique jaillissant entre charbons et donnant par conséquent la radiation complète d'un corps noir porté à haute température. Il y a donc, outre les radiations photochimiques utiles à la production de la réaction de Finsen, toute la série des radiations calorifiques qu'on est obligé d'absorber par de l'eau courante pour empêcher le malade d'être brûlé. Nous avons alors établi un charbon à âme contenant un bâton de fonte de grosseur convenable. Ce charbon permet l'obtention d'un arc qui débite 17 ampères d'une manière parfaitement stable. On peut tenir la main à 10 centimètres d'un pareil arc sans éprouver de brûlure, et les réactions photochimiques sont cependant extrêmement intenses. On peut voir que toute l'énergie électrique dépensée se retrouve dans la radiation bleue, violette et ultra violette de cet arc, car si on met à 10 centimètres de lui un morceau de métal noirci, celui-ci est porté à très haute température et peut brûler la peau en peu de temps s'il est maintenu en contact avec elle. Il faut donc avoir soin de monter les compresseurs de quartz, utilisés pour chasser le sang de la région à traiter, dans des montures métalliques polies, qui réfléchissent la lumière sans l'absorber.

On peut, au moyen de cet arc, traiter des lupus sans avoir recours à aucun réfrigérant. L'appareil devient infiniment moins coûteux que celui de Finsen et la séance de traitement coûte également beaucoup moins cher.

Nous avons eu, sur 150 malades traités à Saint-Louis, des résultats identiques à ceux qu'on a obtenus avec les autres appareils de photothérapie.

Actuellement on abandonne volontiers cette méthode pour la radiothérapie. Cependant il semble que dans le cas des opacités de la cornée le traitement au moyen des rayons actiniques de l'arc au fer soit excellent (Sulzer).

Les propriétés bactéricides considérables de cet arc au fer ont été montrées par M. A. Chatin, peut-être y aura-t-il un jour des applications pratiques utiles de cette propriété.

Indications bibliographiques.

Etudes physiologiques, physiques et cliniques sur la vision des éruptions cutanées.

Thèse de Paris, 1893.

Procédés physiques d'observation des éruptions cutanées.

Presse médicale, 1894.

Emploi de l'arc au fer en photothérapie (en commun avec M. A. Chatin).

Comptes rendus, tome CXXXIV, page 562, 1902.

TROISIÈME PARTIE

OPTIQUE PHYSIOLOGIQUE

A. — ÉTUDES SUR LA SENSATION LUMINEUSE

§ 1. — Addition des sensibilités monoculaires dans la vision binoculaire.

Je me suis servi dans cette étude du disque de Masson. Ce disque est blanc et porte un trait noir d'épaisseur constante, interrompu de place en place. En tournant, chaque segment du trait noir engendre une couronne sombre dont on peut calculer l'intensité lumineuse. La fraction d'intensité qui distingue une couronne du fond blanc qui l'entoure est inversement proportionnelle au numéro d'ordre de la couronne. L'expérience montre le fait suivant : si avec un œil on distingue la couronne d'ordre n et avec l'autre la couronne d'ordre p, avec les deux yeux on distingue la couronne d'ordre $n+p$. On en déduit immédiatement la loi suivante : la sensibilité binoculaire est la somme des sensibilités monoculaires.

C'est cette loi qui a été appliquée en conseillant l'emploi de la vision binoculaire pour l'observation des éruptions cutanées (voir 2ᵉ partie, § 1). C'est également celle qui a été appliquée dans le photomètre universel réalisé avec M. Blondel (Voir 1ʳᵉ partie, D, § 1, c).

§ 2. — Loi de Fechner. — Ses causes physiologiques.

On sait que celle-ci s'énonce : la sensation croît comme le logarithme de l'excitation. Pour arriver à cette loi mathématique, Fechner a interprété l'expérience au moyen d'une hypothèse : *la différence de sensation qui correspond à la perception d'une différence de clarté entre deux plages est constante.* J'ai montré par le calcul deux propriétés réciproques : *a.* Si on admet la loi expérimentale ci-dessus et l'hypothèse de Fechner, on démontre que les sensations dues aux deux yeux s'ajoutent simplement dans le cerveau. *b.* Si

on admet que les sensations s'ajoutent et qu'on joigne à cette hypothèse le résultat expérimental ci-dessus, on retrouve l'hypothèse de Fechner.

L'addition des sensations est rendue bien probable par une expérience de Charpentier relative au seuil d'excitation, et l'hypothèse de Fechner l'est également d'après la comparaison de la classification des étoiles par ordre de grandeur et des mesures astrophotométriques. Ces deux hypothèses, probables chacune séparément, s'impliquent l'une l'autre, l'ensemble a donc un haut degré de probabilité [1].

Les sensations venues d'un seul œil se divisent entre les deux circonvolutions occipitales, au moins pour le point de fixation. Si donc les sensations dues aux deux yeux s'ajoutent, c'est que la cause de la diminution de sensibilité exprimée par la loi de Fechner se trouve non dans la perception de la sensation, mais dans la production de cette sensation elle-même. Nous devons, dans cette manière de voir, considérer que la cause de cette diminution de rendement exprimée par la loi de Fechner est dans l'œil lui-même. Nous savons que deux phénomènes diminuent l'énergie utilisable par unité de surface de la rétine quand l'intensité augmente : c'est la constriction pupillaire d'une part, et d'autre part la migration du pigment rétinien qui diminue la surface occupée par les éléments sensibles et offre à la lumière une partie de surface noire où son énergie se transforme en chaleur.

Dans ces idées, on ne peut avoir de loi nette pour la sensibilité de l'œil que si on définit absolument son état. Il y a deux procédés ; ou bien de prendre l'œil adapté complètement à la lumière employée par une contemplation de quelques instants, ou bien de prendre une observation rapide pour un œil adapté à l'obscurité complète par un long repos. Cette dernière méthode a été employée par Charpentier, qui a vu alors que la différence perçue par l'œil était indépendante de l'intensité, ou à peu près. Cette expérience milite donc en faveur de l'idée qui vient d'être émise et qui peut se résumer ainsi : *La cause de la loi de Fechner, c'est-à-dire de la diminution du rendement de l'œil quand l'intensité diminue est purement physique, elle est due aux réflexes de*

1. Helmholtz a tiré de considérations théoriques l'idée que la loi logarithmique simple ne doit pas permettre de représenter les faits exactement et que, au lieu de $S = S_0 + A \log I$, S étant la sensation, I l'intensité, S_0 et A des constantes, il faut une expression de la forme $S = S_0 + A \log \frac{a + I}{b + I}$, a et b étant de nouvelles constantes. La détermination exacte de la courbe qui relie la fraction différentielle $\frac{\delta I}{I}$ à l'intensité I m'a permis de montrer que, entre 0,25 lux et 4 lux éclairant un papier blanc, mes yeux donnent l'hyperbole $0{,}0125\, I^2 - 0{,}0333\, I \left(\frac{\delta I}{I}\right) + 0{,}43\, I + 1 = 0$, et cette forme mathématique simple permet de remonter à la fonction S qui prend la forme

$$S = A \log \frac{45}{12,15} \cdot \frac{I + 12,5}{I + 45},$$

ce qui vérifie pour la première fois les idées de Helmholtz.

défense de l'œil pour éviter la destruction de la rétine par une lumière trop violente; c'est une conséquence de la loi de la conservation de l'individu.

§ 3. — **Images accidentelles sur fond obscur.**

Dans cette manière de voir, c'est la composition du sang qui baigne la membrane de Jacob qui doit régler les réflexes, de défense; la constriction pupillaire et la migration du pigment doivent se produire jusqu'à ce qu'il y ait équilibre entre la destruction par la lumière et la reconstitution par le sang. Dans ce cas nous devons constater, pour les intensités un peu grandes, une composition constante du sang de la membrane de Jacob. L'analyse de ce sang est impossible, mais j'ai pensé que certains phénomènes pouvaient nous donner une idée de sa composition précisément par rapport aux éléments utiles pour la reconstitution de la rétine. Ces phénomènes sont les images consécutives sur champ obscur.

Helmholtz donne une description de ces phénomènes assez complète à certains points de vue, mais inexacte quant à la description des phases du début. Cette inexactitude tient à l'imperfection des appareils dont il pouvait disposer à l'époque où il s'est occupé de ces phénomènes. Ces images, même quand elles sont bien développées, disparaissent en effet dès qu'un mouvement un peu notable du corps est fait. Pour l'observation, Helmholtz fermait les yeux et plaçait les mains dessus, puis, après adaptation à l'obscurité, ouvrait les yeux et les mains en regardant l'objet observé, puis les refermait. Dans ces conditions, on ne peut commencer à observer qu'après disparition du trouble dû au mouvement des mains et des paupières. Aussi Helmholtz néglige la perturbation du début et attribue le phénomène à la persistance des impressions. Mais actuellement, nous avons à notre disposition des obturateurs photographiques dont on peut régler à volonté la vitesse et qui se déclanchent par une faible pression de l'index sur une poire en caoutchouc. En employant ces instruments, j'ai pu étudier en détail la période de début de ces images, qui m'a montré l'impossibilité de la théorie d'Helmholtz, et la probabilité de mes idées sur la loi de Fechner.

Je pense que les images accidentelles sur fond obscur, ou les images subjectives, comme on les a appelées, plus proprement à mon avis, ne sont qu'une modification du chaos lumineux normal de l'œil. En un mot, l'énergie mise en jeu pour ces images n'est pas, à mon avis, due à un simple emmagasinement sous l'action lumineuse d'énergie réversiblement libérable, comme l'énergie mécanique emmagasinée dans un ressort, ou l'énergie électrique emmagasinée par une capacité ou une self-induction; il y a un intermédiaire qui est la reconstitution de la rétine usée par la lumière sous

l'action du courant sanguin, le dégagement d'énergie mis en œuvre dans ce cas excitant les terminaisons nerveuses dans lesquelles il se produit.

Dans une observation qui m'a été rapportée par le patient lui-même, à la suite d'un traumatisme de l'œil par un choc, une zone rétinienne fut anémiée (observation faite à l'ophtalmoscope). En même temps, le scotome correspondant se produisit dans le champ visuel. La circulation s'étant rétablie le lendemain, le scotome cessa peu à peu, mais il dura plusieurs jours encore notable, et pendant ce temps, où la reconstitution de la rétine se produisait, le scotome paraissait scintillant pendant la nuit. Ce phénomène resta perceptible plus longtemps que le scotome, ce que j'attribue à une neutralisation de celui-ci, analogue à celle par laquelle la tache de Mariotte n'est pas perçue.

Les observations des images accidentelles sur fond obscur doivent d'après ces idées avoir des propriétés bien nettes. Elles doivent d'abord être indissolublement liées à l'existence de l'image accidentelle négative sur fond clair, car il y a des phénomènes de reconstitution tant que le retour à la sensibilité maxima est incomplet.

C'est ce qui a été vérifié dans de nombreuses expériences. J'ai poussé la question aussi loin que possible par l'étude que j'ai faite des phénomènes qui se passent après une contemplation de 4″ du soleil. L'image accidentelle positive a été visible encore au bout de quarante-huit heures, exactement comme l'image négative.

Mais nous pouvons aller plus loin. Pour que l'action sur les terminaisons soit perceptible, il faut que l'activité de la reconstitution soit suffisante. Cela dépend de deux causes, le degré de destruction, et la composition du sang qui baigne les éléments. Il faut un certain temps fixe pour que le sang se renouvelle complètement en un point de la rétine ; nous devons donc penser que l'intensité de l'image accidentelle n'atteindra pas immédiatement son maximum, il faudra pour cela un temps appréciable.

De plus, si l'impression a été très vive, il pourra y avoir une période pendant laquelle le sang sera trop appauvri pour donner une excitation de restauration supérieure au minimum perceptible ; ce sera une période d'obscurité. A partir d'une certaine intensité de l'impression, ce temps doit tendre vers une limite fixe, celle qu'il faut pour que le sang neuf affluant suffise à produire l'action. Pour des impressions plus faibles dues, soit à une diminution de la lumière primitive, soit à une diminution du temps de pose, la période d'obscurité doit diminuer, pour s'annuler ensuite, mais il doit toujours y avoir une période d'énergie croissante de l'image subjective. Si celle-ci est faible, d'ailleurs, la période d'énergie croissante peut être très courte.

J'ai vu que, pour les intensités d'impressions fortes, la période d'obscurité était de 7″ environ, celle d'énergie croissante de 7″ à 8″. L'ensemble est donc

terminé en 15″ environ, moment où l'image acquiert son maximum d'intensité.

J'ai vérifié ces deux périodes approximatives de 7″ et 15″, même dans l'expérience où j'ai contemplé le soleil pendant 4″, et qui a été faite spécialement pour cet objet.

Pour toute lumière assez forte, on peut déterminer un temps de pose assez faible pour que la période d'obscurité s'annule, et même pour que la période d'énergie croissante soit très courte. Avec les lumières assez faibles, comme une feuille de papier éclairée pour la lecture, même vivement, cela est toujours le cas.

Ces faits ont été en partie observés par M. Hess, qui les a publiés quelques semaines après ma thèse.

§ 4. — **Étude de la sensation lumineuse en fonction du temps pour la lumière blanche** (en commun avec M. Sulzer).

Dans ce travail nous avons étudié numériquement la variation de la sensation lumineuse entre le moment où la lumière commence à être admise et celui où elle prend sa valeur permanente. On savait depuis Brücke que les disques papillotants donnent pour le blanc une sensation plus grande quand ils tournent que quand ils sont arrêtés. La question avait été reprise par Exner, qui a employé une méthode très discutable, dans laquelle entrent des images accidentelles. Nous avons repris la question par la méthode la plus directe.

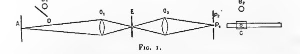


Fig. 1.

Une source réglable B_1 (fig. 1) éclaire un papier blanc A. Une lentille O_1 donne une image réelle en E dans le plan d'un disque rotatif percé d'une fente. De la sorte la lumière est interceptée pendant le passage de la fente sur une image réelle, ce qui est correct pour la mesure du temps. Une deuxième lentille O_2 donne une image finale de A sur le trou P_1 d'un écran P_2. Un étalon B_2 permet d'éclairer plus ou moins le fond P_2.

On commençait, l'épiscotister étant arrêté, par établir l'égalité d'éclat entre l'image aérienne P_1 et le fond d'adaptation P_2, en déplaçant l'étalon B_2. On faisait alors tourner le disque et on obtenait une inégalité d'éclat que l'on compensait en faisant varier la distance de l'étalon B_2 ; on avait ainsi tous les éléments nécessaires pour tracer la courbe de la sensation lumineuse en fonc-

6

tion du temps. On pouvait d'ailleurs faire varier l'éclat initial au moyen de l'œil de chat du premier étalon. Les résultats ont été très nets et très constants. Les courbes de la figure ci-jointe montrent la marche du phénomène.

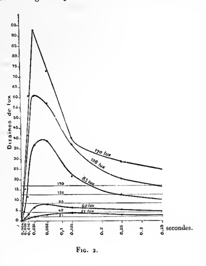


Fig. 2.

Elles sont tracées non pas en cherchant à évaluer les grandeurs mêmes de la sensation, mais en portant en ordonnées les valeurs de l'éclairement objectif en régime permanent mesuré en lux[1] qui donnent les sensations équilibrant celles dues à l'éclairage variable dont la durée mesurée en secondes est portée en abscisses.

Pour achever de déterminer ces courbes, il fallait connaître le point où elles se confondent sensiblement avec leur limite, qui est la sensation permanente. Nous avons fait cette détermination par une expérience spéciale où nous avons été obligés de ralentir l'allure du disque. Nous avons obtenu pour les deux expérimentateurs les mêmes résultats, assez peu précis d'ailleurs, car le contact pratique avec une asymptote est forcément très mal déterminé.

1. Le *lux* est l'éclairement dû à une bougie à un mètre.

ÉCLAIREMENT EN LUX	SEC.
—	—
170	1,10
85	1,25
42,5	1,40
21,2	2,00
10	2,50

La longueur de ces temps est tout à fait inattendue.

Nous pouvons déduire de ces courbes une autre donnée, c'est la loi suivant laquelle varie le temps pour lequel se produit le maximum de la sensation en fonction de l'éclairement. Ces points sont assez mal déterminés, comme les derniers, et pour des raisons analogues, mais l'allure de la variation du maximum est assez bien déterminée.

ÉCLAIREMENT EN RÉGIME PERMANENT EN LUX	SULZER	BROCA
—	— sec.	— sec.
170	0,04	0,03
126	0,065	0,035
85	»	0,05
64,5	0,125	»
42,5	»	0,07
32,4	0,150 ?	»
21	»	0,125
16,2	0,2 ?	»
3,3	»	Le maximum n'est plus net.

Ce tableau nous montre qu'il y a de grandes différences individuelles, et des différences d'autant plus accentuées que les lumières sont plus basses. Une autre donnée intéressante à faire ressortir, est le temps au bout duquel la courbe coupe la ligne de sensation permanente correspondant à l'éclairement objectif.

ÉCLAIREMENT EN RÉGIME PERMANENT EN LUX	SULZER	BROCA
—	— sec.	— sec.
170	0,012	0,005
126	0,025	0,0055
85	»	0,012
64,5	0,057	»
42,5	»	0,02
32,4	0,057	»
21	»	0,03
16,2	0,1	»
3,3	»	Mal déterminé.

Les nombres de ce tableau concordent avec ceux du précédent, et montrent

que pour Sulzer la sensation est nettement plus longue à s'établir que pour Broca.

§ 5. — **Étude de la sensation lumineuse en fonction du temps pour les lumières colorées** (en commun avec M. Sulzer).

Nous avons repris cette question avec les lumières colorées, et nous avons trouvé des différences notables entre les diverses couleurs. La cause essentielle de l'abaissement de la sensation pendant le commencement de l'action de la lumière est la fatigue due à celle-ci, qui agit de deux manières : en diminuant la sensibilité de chaque élément rétinien, et en provoquant des réflexes de défense (par exemple, constriction pupillaire et migration du pigment) qui diminuent la quantité de lumière susceptible d'exciter chaque unité de surface sensible de la rétine.

Nous avons alors appelé *ondulation de fatigue* le rapport $\frac{S_M - S}{S}$, en appelant S_M l'ordonnée maxima et S l'ordonnée limite de nos courbes, et nous avons eu les résultats suivants pour les diverses couleurs, amenées toutes à avoir un éclat égal à celui d'un papier blanc éclairé par 95 lux de lumière blanche.

	Éclairement permanent en lux	Éclairement du maximum	Valeur de l'ondulation de fatigue
	—	—	—
Bleu.	95	$> 4 \times 95$	> 3
Blanc..	95	$2{,}1 \times 95$	1,1
Rouge.	95	$1{,}9 \times 95$	0,9
Vert.	95	$1{,}25 \times 95$	0,25

Ces nombres se rapportent aux expériences de M. Sulzer ; pour les miennes les chiffres sont plus forts systématiquement.

D'ailleurs l'ondulation de fatigue, pour une même couleur, croît quand l'éclairement croît. Voici les chiffres de M. Sulzer relativement à ce phénomène :

Rouge S. . . .	$\frac{Sm - S}{S}$	Vert S. . . .	$\frac{Sm - S}{S}$	Bleu S. . . .	$\frac{Sm - S}{S}$
95. . . .	0,9	95. . . .	0,25	72. . . .	> 3
50,5. . .	0,4	51. . . .	0	33,8. . .	2,8
25,4. . .	0,4	23,75. . .	0	16,7. . .	1,2
10,6. . .	0,35	11. . . .	0	7,1. . .	1,9

Voici mes chiffres :

ROUGE		VERT		BLEU	
S.	$\frac{Sm - S}{S}$	S.	$\frac{Sm - S}{S}$	S.	$\frac{Sm - S}{S}$
95	3	95	0,58	72	> 4
45,5	1,7	45,7	0,37	32	3,25
24,5	1	25	0,95	15,4	1,3
11,1	0,57	11,2	0,27	7,4	1,2

Les chiffres précédés de > signifient que notre appareil ne permettait pas d'obtenir pour la plage fixe un éclat assez grand pour équilibrer la sensation maxima. Je donne le chiffre obtenu pour le vert 24,5 quoi qu'il soit manifestement erroné, pour montrer que ces expériences sont fort difficiles et présentent de temps en temps une erreur due peut-être à l'état de l'œil, peut-être à une mauvaise fixation.

Dans cette série d'expériences nous avons vu que, pour le bleu, on n'obtenait de résultats concordants que si, entre deux éclairs successifs il s'écoulait au moins deux secondes. Sans cela la fatigue due à une impression n'est pas encore réparée au moment de la suivante. Ce phénomène est beaucoup moins remarqué, à égalité d'éclat, pour les autres couleurs. Nous avons nommé ce phénomène : *fatigue à longue échéance*.

De ce qui précède il résulte évidemment que si on prend deux plages, une verte et une bleue, qu'on égalise en régime permanent, la bleue prend la prédominance quand on regarde les deux plages simultanément pendant un temps très court. C'est un phénomène analogue à celui de Purkinje.

Nous pouvons déduire de tout ce qui précède deux conclusions différentes, une pratique et une théorique.

La conclusion pratique, c'est que la lumière bleue, qui donne aisément une notion de grand éclat, est une mauvaise lumière, car elle donne cette notion d'éclat au prix d'une fatigue considérable. On sait d'ailleurs, depuis Macé de Lépinay et Nicati, qu'elle ne donne pas une bonne acuité visuelle à l'œil, on peut donc dire qu'une lumière est d'autant meilleure au point de vue rétinien qu'elle contient moins de bleu. On ne peut se prononcer aussi catégoriquement sur le rouge, qui a des propriétés assez voisines de celles du vert.

Au point de vue théorique, nos observations permettent de lever une objection embarrassante à la théorie de l'évolution. On sait, depuis Langley, que le vert est la couleur qui exige le minimum d'énergie pour donner à l'œil une acuité visuelle donnée. Ch.-Ed. Guillaume a montré que cette radiation qui donne la meilleure acuité visuelle est celle pour laquelle le spectre solaire présente son maximum d'énergie spécifique. L'œil s'est donc adapté, au point de vue de sa fonction primordiale qui est la production de la notion de

forme, de manière à utiliser le mieux possible la radiation la plus intense de la lumière du jour.

Cependant, l'étude du sens lumineux semblait donner un démenti à ces idées, car le bleu donne la notion d'égalité d'éclat avec une énergie bien moindre que le vert. Mais cette supériorité au point de vue de l'éclat brut est obtenue aux dépens d'autre chose, puisque l'ondulation de fatigue de l'œil est dix fois plus grande avec le bleu qu'avec le vert; ce n'est donc qu'une supériorité apparente. En effet, les ondulations de l'éther ne servent qu'à déclancher dans les cellules rétiniennes leurs processus normaux de fonctionnement, et ce qui importe le plus à l'organisme, ce n'est pas la quantité d'énergie extérieure qui peut produire une sensation donnée, c'est le rapport de la quantité d'énergie physiologique véritablement employée à la quantité d'énergie de même espèce qui pourrait être employée si la fatigue et la défense de l'organisme n'intervenaient pas. Or nous voyons qu'à ce points de vue c'est pour le vert que nous sommes le mieux organisés, c'est-à-dire pour la région du spectre solaire où se trouve le maximum d'énergie : c'est dans cette région que la rétine fonctionne le plus économiquement au point de vue physiologique. Et on peut aller plus loin encore. La courbe de l'énergie dans le spectre descend beaucoup plus vite du côté du bleu que du côté du rouge, et c'est vers le rouge que l'adaptation évolutive s'est faite pour le mieux. Malgré l'impossibilité d'évoluer de manière à utiliser parfaitement toutes les radiations, l'œil a évolué de manière à utiliser le mieux la région du spectre solaire qui décroît le moins vite à partir de son maximum.

INDICATIONS BIBLIOGRAPHIQUES.

Thèse déjà citée.

Sur les sensations visuelles et la photométrie.
Société de Physique, 2 février 1894, et *Journal de Physique*, mai 1894.

Sur le fonotionnement de l'appareil nerveux visuel.
Assc ciation française pour l'avancement des sciences, 1894.

Les images subjeotives normales et pathologiques.
Société de Biologie, janvier 1897.

La sensation lumineuse en fonction du temps (en commun avec M. Sulzer).

Comptes rendus, tome CXXXIV, page 831, 1902.

Article sur le même sujet au *Journal de Physiologie et de Pathologie générale,* 1902, page 632.

Sensation lumineuse en fonction du temps pour les lumières colorées (en commun avec M. Sulzer).

Comptes rendus, tome CXXXVII, page 944, 1903.

Rôle du temps dans la comparaison des éclats lumineux en lumière colorée (en commun avec M. Sulzer).

Comptes rendus, tome CXXXVII, page 977, 1903.

La sensation lumineuse en fonction du temps pour les lumières colorées. — Discussion des résultats (en commun avec M. Sulzer).

Comptes rendus, tome CXXXVII, page 1046.

Article d'ensemble sur les trois dernières notes au *Journal de Physiologie et de Pathologie générale,* 1904, page 55.

B. — ÉTUDE SUR L'ACUITÉ VISUELLE ET LES SENS DES FORMES

§ 1. — Causes de variation de l'acuité visuelle en lumière blanche.

Helmholtz a émis, comme nous l'avons déjà vu, l'idée que deux traits lumineux étaient distingués quand l'image rétinienne du noir qui les sépare était précisément de la largeur d'un élément rétinien, c'est-à-dire quand, entre deux éléments rétiniens distincts impressionnés, il y en avait un non impressionné. La figure 3 montre l'image rétinienne de deux traits blancs,

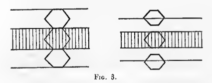


Fig. 3.

séparés par un trait noir représenté haché, au moment limite où on cesse de percevoir une différence, d'après cette théorie.

Cette théorie semble incompatible avec le fait que l'acuité visuelle varie

avec l'éclairage. J'ai expliqué ces variations par deux phénomènes découverts depuis Helmholtz : la migration du pigment rétinien et l'existence des connexions horizontales de Ramon y Cajal.

L'étude de la courbe de variation de l'acuité visuelle avec l'éclairage montre que, de 0 à 10 lux, l'acuité visuelle croît rapidement jusqu'à une valeur qui, pour la plupart des sujets est 1. Ensuite elle croît lentement. D'après les données d'Helmholtz l'acuité visuelle 1 correspond aux cônes jointifs de la première figure, nous allons montrer que la migration du pigment explique l'accroissement lent pour les lumières vives.

Nous savons que, sous l'action de la lumière forte, le pigment rétinien subit le phénomène de la migration ; il se glisse entre les cônes et bâtonnets, les isolant les uns des autres, et diminuant par conséquent leur section droite. Charpentier a montré expérimentalement que par des alternatives d'obscurité et de lumière vive il y avait production d'une ondulation transversale des éléments photesthésiques, qui est bien probablement une conséquence des alternatives de la migration. Quand la lumière est assez vive, l'aspect de la rétine est celui de la figure de droite, les éléments sensibles étant séparés par du pigment insensible à la lumière, et leur section droite étant plus petite que dans le cas de la figure de gauche. Dans ce cas, les deux traits blancs séparés par un trait noir haché seront encore perçus, quoique leur distance soit plus faible que dans l'autre cas si, du moins, l'éclat du fond n'est pas trop grand pour que la diminution d'impression due à la fatigue par la lumière ambiante soit négligeable.

J'ai pensé alors que, le test-objet étant assez petit pour ne pas provoquer de phénomènes rétiniens considérables malgré un vif éclat, on devrait avoir une acuité visuelle plus grande, si au lieu d'un fond noir on employait un fond éclairé par une lumière vive et étendue. Celle-ci en effet produit, grâce aux petits mouvements de l'œil, une migration du pigment intense.

Le test-objet employé dans ces expériences était une petite image réelle d'un gril en papier blanc. Cette image comprenait 13 traits et avait $3^{mm},5$ de côté ; elle se faisait dans un petit trou percé dans un large écran qu'on pouvait éclairer à volonté.

L'expérience, qui réussit parfaitement avec le regard errant normalement, réussit même avec le regard parfaitement fixe, et la fixité du regard importe peu ; on voit que le phénomène de la migration du pigment doit se propager à une certaine distance autour des points de la rétine directement frappés par la lumière.

L'expérience précédente contient les éléments d'une évaluation numérique de l'épaisseur de la couche du pigment qui s'introduit entre les éléments rétiniens après la migration. Pour la rétine adaptée par le petit test-objet l'acuité visuelle est 1,15, et 1,55 pour la rétine adaptée à la lumière directe de la

lampe à incandescence qui est la plus forte que j'aie employée. Dans ces dernières conditions, l'image rétinienne discernable est d'environ 1/4 plus petite que pour la rétine adaptée à l'obscurité, donc l'épaisseur de la couche de pigment, après la migration produite par l'image directe d'un filament de lampe à incandescence, est de 1/4 environ du diamètre des cônes dans la fovea.

Si maintenant nous considérons les basses lumières, nous devons penser que les cônes se mettent en connexion plusieurs ensemble sur une même fibre nerveuse, pour pouvoir expliquer la diminution de l'acuité visuelle correspondante. Les travaux de Ramon y Cajal ont d'ailleurs montré que ces connexions variables existent réellement dans les couches cérébrales de la rétine, et il les a appelées *connexions horizontales*. Une expérience de Charpentier montre que, dans l'obscurité, tous les cônes de la fovea sont en connexion. En effet, quand plusieurs cônes sont ainsi réunis, ils forment ce qu'on peut appeler un territoire indépendant, qui joue pour le sens des formes le même rôle qu'un cône isolé à haute lumière. Mais, bien évidemment, quand un territoire indépendant est formé, il somme toutes les impressions qui lui arrivent, sans les distinguer. Charpentier a montré que l'éclat de l'image rétinienne correspondant au minimum perceptible est inversement proportionnel aux dimensions de cette image quand ces dimensions sont plus petites que celles de la fovea tout entière. Les connexions de Ramon y Cajal s'étendent alors à toute la fovea qui constitue un territoire indépendant.

La cause probable de cette mise en batterie des cônes est que l'influx nerveux dû à tous les cônes en batterie se concentre sur une même fibre nerveuse et atteint alors l'intensité suffisante pour ébranler la cellule corticale en connexion avec elle, l'influx nerveux dû à un nombre moindre de cônes étant insuffisant pour cela.

Si cette idée est exacte, la fatigue de l'œil amené à cet état, par un fond éclairé situé autour du test-objet, doit diminuer l'acuité visuelle, puisqu'elle diminue la sensibilité de chacun des points de la rétine. C'est en effet ce que j'ai vérifié. Aussitôt que l'acuité visuelle due au test-objet sur fond noir est tombée au-dessous de 1, la présence d'un fond d'adaptation éclairé fait baisser l'acuité visuelle.

Il est bien entendu que toutes ces expériences ont été faites avec un trou de 2 millimètres devant l'œil, pour éliminer l'influence des changements de diamètre pupillaire.

Corrélativement à tout cela, on doit observer deux phénomènes différents, quand on emploie le petit test-objet sur fond noir, et qu'on le regarde en arrivant du jour extérieur, suivant que l'éclat des traits clairs est au-dessus ou au-dessous de 10 lux, valeur critique pour laquelle les cônes sont join-

tifs. Au-dessus de 10 lux, l'acuité visuelle doit baisser quand on s'adapte à l'obscurité, au-dessous de 10 lux, elle doit augmenter. C'est ce que l'expérience vérifie en détail; pour l'éclairement de 170 lux des traits, j'ai, en arrivant du jour ou après fatigue par un fond de 60 lux, l'acuité visuelle 1,54, et 1,15 après 20 minutes d'obscurité. Au contraire l'éclairement du trait blanc étant de 1 lux, l'acuité visuelle en venant du jour a été de 0,65, et de 0,84, 15 minutes après. Il est à remarquer que le temps de 15 à 20 minutes est celui qui est nécessaire pour que l'adaptation à l'obscurité soit complète.

§ 2. — **Inertie rétinienne relative au sens des formes. — Vision des traits** (en commun avec M. Sulzer).

Dans ce qui précède j'ai supposé que, pour atteindre une acuité visuelle donnée, l'œil avait à réaliser une segmentation de la rétine en territoires indépendants d'autant plus petits que l'acuité visuelle demandée à l'œil était plus petite. Il était naturel de penser que la segmentation systématique ne se produit qu'au moment du besoin, et qu'alors il faudra un temps d'autant plus long pour distinguer des traits noirs sur fond blanc, que le diamètre apparent sous lequel ils sont vus sera plus petit. C'est l'hypothèse que nous avons faite M. Sulzer et moi. Nous avons employé un montage tout à fait analogue à celui de la figure 1 où le fond blanc A était remplacé par un gril.

Nous avons alors déterminé le temps minimum pendant lequel devait agir sur la rétine la lumière émanée du test-objet pour que les traits fussent distingués. Nous nous sommes adressés ainsi à la modalité la plus simple du sens des formes, c'est-à-dire à l'acuité visuelle rendue indépendante de toute association cérébrale complexe, comme celle qui servirait pour reconnaître des lettres.

Deux séries d'expériences ont été faites dans ces conditions : dans la première, l'éclat étant celui que donne à une feuille de papier blanc un éclairement de 170 lux (17 carcel-mètres), nous avons fait varier l'acuité visuelle demandée à l'observateur. Voici une série d'expériences :

Acuité visuelle A	Temps T	Quotient $\frac{A}{T}$
1	0"0100	100
0,9	0"0086	105
0,8	0"0073	110
0,7	0"0054	129
0,6	0"0045	133
0,5	0"0036	140
0,4	0"0027	147
0,3	0"0020	150
0,2	0"0013	154

L'accroissement des quotients nous montre que le temps nécessaire pour donner une acuité visuelle déterminée à l'œil décroît beaucoup plus vite que ne croît l'angle visuel qui lui correspond.

Dans la seconde série d'expériences, nous avons demandé à l'œil l'acuité visuelle 1, et nous avons fait varier l'éclairage. Nous avons eu les résultats suivants :

ÉCLAIREMENT E	TEMPS T	PRODUIT ET
—	—	—
160 lux.	0"01	1,60
80 —	0"022	1,75
40 —	0"04	1,60
20 —	0"09	1,80
10 —	0"16	1,60

Le produit ET est constant, aux erreurs d'expérience près, prouvant que, dans les limites de nos expériences, la perception des formes simples nécessite une quantité d'énergie lumineuse déterminée, quelle que soit l'intensité lumineuse.

L'acuité visuelle varie en fonction de l'intensité lumineuse et la sensation varie en fonction du temps. On pouvait se demander si l'acuité visuelle n'était pas liée uniquement à la grandeur de la sensation. En comparant l'éclat de l'image du test-objet à celle du fond, pour un éclairement de 160 lux, nous avons vu que, quand la durée d'admission de la lumière est de 0,01 l'éclat du test-objet est plus grand qu'en régime permanent (voir 3e partie, A, § 4 ci-dessus).

L'inertie relative au sens des formes, dans le cas le plus simple, est donc tout à fait distincte de celle qui correspond à la sensation lumineuse brute, et est probablement due au phénomène mécanique de la mise en connexion des cônes.

Tels sont les résultats qu'on obtient en prenant comme criterium la disparition presque à chaque éclair des traits du test-objet. Quand au contraire on exige la vision des traits à tous les éclairs, on obtient des temps beaucoup plus longs, et de plus la forme de la loi qui relie les éclairements aux temps nécessaires pour donner la vision est plus complexe. La figure 4 ci-jointe donne les résultats obtenus dans ce cas, chaque courbe représentant ce qui est relatif à un éclairement particulier. En ordonnées sont portés les temps en millièmes de seconde, en abscisses les distances en centimètres où le test-objet est reconnu. L'abscisse 100 correspond à l'acuité visuelle 1. Les courbes pleines représentent ce qui se passe quand le fond d'adaption P_2 (fig. 1) est noir. Les courbes en traits discontinus représentent ce qui se passe quand le fond P_2 est de même éclat que les blancs du test-objet celui-ci se détachant subitement sur du noir. Les courbes en traits doubles représentent ce qui se passe quand, le fond P_2 ayant ce même éclat, le disque tournant lui-

même est formé d'un carton blanc éclairé au moyen d'un troisième étalon

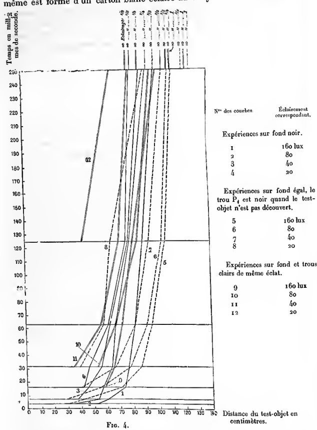


Fig. 4.

qui l'amène au même éclat. Dans ces dernières conditions, les phéno-

mènes sont plus complexes car la perception se fait quand la sensation, sur le point où se forme l'image des traits noirs, a baissé d'une quantité suffisante. Les phénomènes rétiniens ne sont donc pas du tout les mêmes, et les phénomènes cérébraux non plus, puisque la distinction se fait certainement alors entre des plages ayant toutes deux une intensité notable.

La fatigue à longue échéance (page 45) se produit quand l'éclairement dépasse la limite de 160 lux, et alors quand on prolonge l'expérience au delà de 10 passages à 1 seconde d'intervalle le temps de segmentation s'allonge quand la lumière croît.

Ce qui précède suppose que nous nous donnons comme criterium la reconnaissance une fois sur deux d'une image incomplète. Quand on exige la reconnaissance à tout coup d'une image complète les temps s'allongent beaucoup, et de plus le produit E T n'est plus constant, mais il passe par un minimum pour l'éclairement de 40 lux.

Le produit E T mesure la quantité d'énergie lumineuse qu'il faut dépenser sur la rétine pour en obtenir la segmentation demandée ; nous voyons donc que l'éclairement de 40 lux sera le plus recommandable pour la reconnaissance rapide et économique des détails.

§ 3. — Propagation de l'onde de segmentation.

Quand le temps d'admission de la lumière se raccourcit, on arrive d'abord à ne plus voir le test-objet complet à tout coup, puis on commence à voir des images incomplètes, les traits centraux persistant les derniers. Nous voyons donc que les temps doivent varier avec le criterium adopté. Nous avons eu le tableau suivant :

Temps. sec.	
0,125	Limite de la visibilité complète et sans raté.
0,060	Visibilité à tous les coups, mais de temps en temps une image incomplète, les traits centraux étant seuls vus.
0,030	Vision complète une fois sur deux environ.
0,015	Pas une image complète. — De temps en temps, une fois sur deux à peu près, quelques traits visibles, un à trois au milieu. La luminosité commence à baisser.
0,007	De temps en temps deux ou trois images incomplètes de suite, puis sept ou huit au moins non vues.
0,0035	De temps en temps quelque chose de visible, une fois sur cinq environ. Une faible diminution du temps d'apparition de l'image supprime complètement toute vision de traits.

Suivant le criterium adopté, les temps obtenus varient de 1 à 35, mais chacun des criteriums est parfaitement défini.

Nous tirerons de là une conclusion importante. On n'a pu, jusqu'ici, mettre en évidence de différence au point de vue du sens des formes dans la partie tout à fait centrale de la fovea. La plupart des auteurs admettent que l'acuité visuelle a une variation négligeable sur une étendue angulaire de 1 degré. Nous voyons ici que, si nous introduisons dans l'étude du sens des formes la notion du temps, une différence considérable se manifeste dans l'étendue même de la région définissant un angle solide de 13 minutes autour du centre, ce qui correspond à un cercle de 55 microns de diamètre sur la rétine. Le temps d'admission de la lumière nécessaire à la perception d'un trait sur le point de fixation même, est au moins quatre fois plus court que celui qui correspond à la définition des traits par les points situés à 25 microns du point de fixation. C'est, en effet, pour $0^{sec},03$ qu'un grand nombre des images commencent à devenir incomplètes ; pour $0^{sec},007$ il y a très souvent des ratés complets.

Une deuxième constatation est que la limite extrême de visibilité est soumise à de très grandes variations, puisqu'il y a une variation de 1 à 5 entre la durée pour laquelle on voit, de temps en temps, une image à traits centraux visibles, et celle pour laquelle on a presque à tout coup une image incomplète.

Si, au contraire, nous nous adressons au criterium que nous avons pris définitivement, celui pour lequel tous les traits sont visibles à tous les coups, nous obtenons une précision relativement très grande. Dans chaque expérience, une variation de 1/20 dans la vitesse de rotation du disque se manifestait nettement par une variation de visibilité. De même, la distance de l'œil était déterminée aisément à 1/20 près de sa valeur.

§ 4. — **Inertie relative au sens des formes. — Vision des lettres** (en commun avec M. Sulzer).

Nous avons repris les mêmes expériences en employant des lettres au lieu de traits, et nous avons pu, grâce à l'existence de lettres comme le V ou le T, pour lesquelles les traits constitutifs sont séparés par un espace blanc d'un diamètre apparent triple de celui qui correspond à l'E ou au B, tirer des conclusions nettes relativement à l'acte psychique. En effet, nous savons que, quand le diamètre apparent du test-objet augmente, le temps nécessaire à sa distinction diminue extrêmement vite, au moins au début, et nous savons quel est ce temps d'après les expériences antérieures. La reconnaissance d'un V ou d'un T exige l'admission de la lumière pendant un temps vingt fois plus long que la distinction pure et simple des traits qui le composent, et ce temps est encore notablement plus court que celui qui permet de reconnaître un E de même

taille. Dans les expériences sur le T et le V, on peut donc dire que, pratiquement, tout le temps est employé pour l'acte psychique.

Quand, au lieu de faire détacher subitement le test-objet sur un fond noir, on fait apparaître subitement des traits noirs sur un fond blanc, ce qui réalise les conditions habituelles de la lecture, les différences s'atténuent.

Cela se comprend, car, dans ce cas, le phénomène primordial dont dépend la formation du signe local à percevoir n'est pas le phénomène rapide étudié ci-dessus, de l'établissement de la sensation, mais le phénomène plus lent de la persistance des impressions lumineuses. Ce phénomène lent masque partiellement le phénomène psychique pur.

Mais, même dans ce cas, il faut encore un temps de un tiers plus long pour reconnaître un E que pour reconnaître un V ou un T.

La conclusion de tout cela, c'est qu'un alphabet rationnel devrait se composer de caractères plus simples que ceux qui sont actuellement en usage ; nous avons cherché quelles formes étaient les meilleures et nous sommes arrivés aux suivantes, qui ont les plus grandes analogies avec celles qui sont

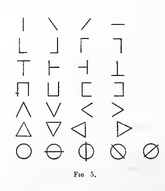


Fig. 5.

employés dans les caractères Braille, à l'usage des aveugles ; ceci semble bien montrer que l'acte cérébral de la perception des formes, que celles-ci soient révélées par l'œil ou par le toucher, est analogue.

Conclusions relatives aux courbes psycho-physiques. Je cite ici la fin de notre mémoire sur la vision des lettres.

Telles sont les conclusions pratiques de notre travail ; nous ne voulons pas le terminer sans insister un peu sur ses résultats théoriques. C'est la pre-

mière fois, croyons-nous, qu'on a pu mesurer la quantité d'énergie extérieure nécessaire pour produire un acte cérébral. De nombreuses mesures ont bien porté sur les divers seuils d'excitation relatifs aux sensations brutes, mais il n'y avait pas là d'acte mémoriel complexe mis en jeu. Une seule observation à notre connaissance semble avoir montré quelque chose d'analogue, c'est celle de Charpentier citée par Guilloz (*C.-R.* 9 mars 1903, t. 136, p. 611), qui a indiqué l'absence de fusion stéréoscopique pour les intensités lumineuses faibles. Il nous semble que les actes cérébraux où la mémoire entre sont susceptibles de donner des éléments de mesure, où le criterium est bien plus satisfaisant que dans le cas des seuils d'excitation, et ces mesures sont susceptibles de se représenter par des lois de forme simple. C'est, croyons-nous, faire un pas sérieux en avant que de montrer les relations entre les énergies extérieures et les phénomènes de mémoire, car c'est montrer que ces derniers sont susceptibles de mesure, c'est reculer d'une manière appréciable la limite destinée à disparaître tôt ou tard, entre les phénomènes physiologiques et ceux dits psychologiques.

Quant à la forme même des courbes, nous voyons que, pour une intensité lumineuse donnée, la relation entre le temps d'admission de la lumière, c'est-à-dire l'énergie lumineuse nécessaire, et l'acuité visuelle demandée à l'œil, est de forme identique à celle qui relie, d'après Fechner, la grandeur de la sensation à celle de l'excitation, ou à celle qui relie, d'après les observations quotidiennes, l'acuité visuelle limite à l'éclairage. Nous pourrions donc représenter ces courbes par des fonctions logarithmiques. Nous ne l'avons pas fait, car, les courbes renseignent complètement sur le phénomène, et nous aurions peur de donner un argument de plus à ceux, trop nombreux, qui croient à l'existence métaphysique de la loi logarithmique. Celle-ci s'introduit naturellement dans un grand nombre de phénomènes physiologiques par une raison extrêmement simple. Au fond, elle ne fait qu'exprimer ce résultat d'observation : le phénomène s'annule quand la cause excitatrice devient assez petite (existence d'un seuil), croît assez rapidement quand la cause excitatrice croît depuis cette limite, et tend lentement vers une limite finie quand la cause excitatrice devient très grande. La fonction logarithmique permettra toujours, en lui donnant un nombre suffisant de coefficients, de représenter les choses, au moins sur une assez grande étendue. Il est cependant certain que, pour les intensités très grandes qui produisent une fatigue intensive, la loi serait en défaut.

Il ne faut pas chercher d'autre raison à cela que celle que nous venons d'indiquer. Il n'en est pas moins fort intéressant de voir que toutes les fonctions cérébrales connues jusqu'à ce jour suivent cette même forme de loi, indiquant l'existance d'une inertie de début suivie d'une croissance rapide et d'une limite inéluctable. Les courbes font parfaitement ressortir tout cela

et la loi logarithmique n'est qu'une mauvaise manière d'exprimer les faits, pouvant donner des idées fausses à des esprits systématiques.

§ 5. — **Conclusion générale des études d'optique physiologique.**

En somme, les travaux sur la sensation lumineuse et sur l'acuité visuelle que j'ai faits soit seul, soit en collaboration avec M. Sulzer ont fait reculer d'un pas la limite entre la psychologie et la physiologie. Pour beaucoup de personnes la forme logarithmique de la loi de Fechner était une loi du *monde psychologique* pour citer une expression souvent employée ; de ce qui précède (3e partie, A, § 2) il résulte au contraire que la forme de cette loi doit être attribuée aux réflexes de défense de l'œil ; pour l'explication de la variation de l'acuité visuelle avec l'éclairage, qui a la même forme logarithmique, il suffit d'après l'ensemble des faits ci-dessus indiqués (3e partie, B, § 1) d'invoquer d'une part l'adaptation forcée à la perception des basses lumières, d'autre part les réflexes de défense contre les lumières élevées. Enfin, avec M. Sulzer, comme il vient d'être dit à la fin du paragraphe précédent, nous avons trouvé une nouvelle loi à forme logarithmique, celle qui relie l'acuité visuelle au temps d'action de la lumière, et nous avons montré que celle-là encore est due aux phénomènes physiologiques précédents. En somme tous ces travaux ont apporté un appui sérieux à cette idée aujourd'hui si répandue que l'étude systématique des phénomènes physiologiques amènera à réduire de plus en plus, à annuler peut-être un jour, le domaine de l'ancienne psychologie.

Indications bibliographiques.

Variation de l'acuité visuelle avec l'éclairage et l'adaptation. Mesure de la migration du pigment rétinien.

Comptes rendus, tome CXXXII, page 795.

Causes rétiniennes de variation de l'acuité visuelle en lumière blanche.

Journal de physiologie et de pathologie générale, 1901.

Inertie rétinienne relative au sena des formes (en commun avec M. Sulzer).

Comptes rendus, tome CXXXIII, page 653.

Inertie rétinienne relative au sens des formes (en commun avec M. Sulzer).

Comptes rendus, tome CXXXVI, page 1287.
Mémoire détaillé au *Journal de physiologie et de pathologie générale.*

Inertie cérébrale relative à la vision des lettres (en commun avec M. Sulzer).

Comptes rendus, tome CXXXVI, page 1481.
Mémoire détaillé au *Journal de physiologie et de pathologie générale.*

QUATRIÈME PARTIE

OPHTALMOMÉTROLOGIE

§ 1. — Vision des astigmates corrigés.

On démontre aisément que, lorsqu'un verre correcteur se trouve placé au foyer antérieur d'un système centré, il produit des déplacements égaux du foyer postérieur du système et du plan principal correspondant de celui-ci. Donc la distance focale du système total après correction est la même que celle du système primitif avant l'introduction du verre correcteur. Si le verre n'est pas placé exactement au foyer, mais s'il en est assez voisin, il n'y a qu'une variation très petite de la distance focale à introduire, c'est le cas qui est réalisé pour l'œil sphérique corrigé. Si, au lieu de cela, nous avons un œil astigmate, celui-ci sera corrigé, comme tous les yeux amétropes d'ailleurs, par un verre qu'on sera obligé de placer sensiblement au foyer antérieur. Si ce verre fait converger en un même point de la rétine les rayons compris dans le plan horizontal et dans le plan vertical, il reculera la droite principale du méridien corrigé de la même quantité que le foyer et par conséquent le système astigmate primitif à plans principaux confondus et à foyers différents suivant les azimuts, sera transformé en un autre à foyers confondus et à plans principaux différents suivant les azimuts ; mais les distances focales correspondant aux méridiens principaux avant et après la correction seront les mêmes. Au fond il se passe pour le méridien corrigé exactement ce qui se passe pour l'œil amétrope sphérique corrigé. Nous aurons la distance rétinienne des images de traits parallèles à l'un des méridiens principaux en construisant l'image de cette distance au moyen de la distance focale correspondant à l'autre méridien principal du système. Si donc on construit les images rétiniennes correspondant à des droites parallèles distantes d'un diamètre apparent donné, la distance des images sera plus petite si ces droites sont perpendiculaires au méridien de plus petite courbure que si elles sont dans le méridien de plus grande courbure. Donc dans l'astigmatisme conforme à

la règle, l'image d'un carré par exemple sera un rectangle aplati verticalement. Tous les astigmates susceptibles de compensation accommodative peuvent aisément vérifier le fait en regardant avec et sans verre correcteur.

Cela explique comment certains astigmates, quand ils viennent d'être corrigés, sont gênés dans la rue, où il leur arrive de manquer le trottoir. Il suffit d'une rééducation qui est toujours rapide pour que cet inconvénient disparaisse.

§ 2. — **Variation de l'acuité visuelle des astigmates dans les divers azimuts.**

Sur mon œil droit, astigmate de $1^{D},75$, j'ai observé que l'acuité visuelle était notablement différente dans les divers azimuts. J'ai pu alors tracer la courbe enveloppe des traits possibles à distinguer pour les diverses directions. Cette enveloppe représente ce que j'ai appelé la forme fonctionnelle de l'élément rétinien. Cette forme peut nous renseigner sur la véritable forme de la section droite de l'élément. En effet, un élément rétinien ne répond que quand l'excitation a pris une valeur minima, c'est-à-dire quand un trait clair d'éclat donné découpe sur sa base une surface constante. On voit aisément que la forme trouvée peut s'expliquer en admettant que la section droite des cônes est allongée dans le sens où la membrane est tiraillée par l'accommodation astigmatique irrégulière de compensation, c'est-à-dire dans le plan du méridien le moins courbé, ce qui diminue l'acuité visuelle relative aux traits normaux à ce méridien.

C'est cependant dans ce méridien que l'image rétinienne devrait être la plus grande d'après le travail précédent, et par conséquent l'acuité visuelle plus grande aussi. La déformation des éléments compense et au delà ce dernier effet.

Il est remarquable de voir les cellules épouser la symétrie de la membrane dont elles font partie.

§ 3. — **Compensation accommodative de l'astigmatisme** (en commun avec M. Sulzer.)

On sait depuis longtemps que les astigmates jeunes peuvent compenser l'astigmatisme jusqu'à 2 dioptries environ, et cela au prix d'un effort intensif qui cause l'asthénopie des astigmates, leur presbytie précoce et les désordres nerveux qu'ils éprouvent même parfois. Le mécanisme de cette compensation était fort discuté, et beaucoup d'opbtalmologistes se rangeaient à l'avis de Reymond de Turin, pour lequel l'œil astigmate, par une oscillation constante de la contraction du muscle ciliaire, accommode tantôt sur les verti-

cales et tantôt sur les horizontales, se faisant alors idée de l'objet par images successives.

Nous avons élucidé cette question en étudiant l'œil astigmate au moyen de l'ombre pupillaire. M. Sulzer examinait par cette méthode les deux méridiens principaux de mon œil droit (1,75 astigmatisme conforme à la règle) pendant la lecture. Pendant cet acte, l'œil sans verre correcteur se comporte comme s'il était sphérique.

Nous avons pu étudier de même la façon dont l'accommodation se produit dans sa période variable. Dans cette période, l'œil commence par accommoder son méridien le plus puissant sur le livre, l'autre gardant alors son astigmatisme normal. Puis l'accommodation dans le second méridien, qui exige un effort plus grand et irrégulier se fait peu à peu et par tâtonnements successifs ; il faut un temps notable, aux environs de la minute, pour que l'acte physiologique soit terminé.

§ 4. — **Angle limite de numération des objets et mouvements des yeux** (en commun avec M. Sulzer).

Nous avons vu que la numération de traits équidistants peut se faire seulement quand leur équidistance soustend un certain angle, et cet angle doit être d'autant plus grand que le nombre de traits à compter est plus grand. Nous avons trouvé les nombres suivants pour les traits horizontaux.

Angle limite de l'observateur.	45″ (acuité visuelle $\frac{4}{3}$)
Numération de 2 traits.	1′ 6″
— 3 —	1′40″
— 4 —	2′
— 5 —	2′50″
— 6 —	3′

La numération se faisant par de petits mouvements de l'œil, nous voyons que le plus petit mouvement de l'œil bien exact qu'on peut faire et répéter sans erreur est de 3′. En dessous, on peut bien faire quelques mouvements mais ils n'ont pas l'exactitude suffisante pour qu'on puisse les répéter un certain nombre de fois sans perdre la fixation. Pour les traits verticaux, mêmes résultats. Pour les traits à 45°, les sujets d'âge moyen (35 à 45 ans) les ont comptés notablement moins bien. Les sujets jeunes les ont comptés à peu près de même, mais au prix d'une fatigue beaucoup plus grande. Nous avons attribué cela à ce que pour les traits verticaux et horizontaux les muscles droits agissent seuls pour produire le mouvement convenablement orienté ; au contraire, dans le mouvement à 45°, les muscles obliques interviennent pour que le mouvement puisse se faire autour d'un axe de Listing[1].

1. Listing a montré que les mouvements de l'œil s'exécutent toujours autour d'axes situés dans un

La synergie est alors plus compliquée et les mouvements deviennent moins aisés et moins précis.

Ce travail montre que la méthode de Burckhardt, qui croit mesurer l'acuité visuelle en faisant compter des points, part d'un principe faux.

§ 5. — **La vision des signaux colorés et les épreuves de la dyschromatopsie.**

On sait que, quand une lumière colorée diminue d'éclat, on perd la notion de couleur avant de perdre la notion de lumière. Le rapport de l'éclat qui donne pour la première fois la notion de couleur à celui qui donne pour la première fois la notion de lumière se nomme l'intervalle photochromatique (Charpentier). Je vais d'abord établir que, dans la vision normale des signaux colorés à la limite de visibilité, on a une sensation qui tend vers zéro par une diminution apparente d'éclat. Il est un principe d'optique qui semble contredire ceci, c'est que l'éclat d'une image est égal à l'éclat de l'objet (aux absorptions près), et que la dimension seule de l'image varie en raison inverse du carré de la distance de l'objet. Mais à partir du moment où l'image rétinienne du projecteur est plus petite qu'un territoire indépendant de la rétine, la notion de grandeur de l'image disparaît, et on somme simplement la quantité de lumière reçue. A partir de ce moment, la quantité de lumière reçue par le territoire indépendant décroissant en raison inverse du carré des distances, il arrive un moment où la quantité d'énergie ne sera plus suffisante pour l'ébranler, et on arrivera au seuil de la sensation, en passant d'abord par le seuil coloré. Le diamètre apparent d'un cône vu du centre optique de l'œil est $\frac{1}{3\,500}$ environ, donc un signal de 30 centimètres de diamètre sera dans les conditions sus énoncées à partir de $0^{m},3 \times 3\,500 = 1\,050$ mètres au plus. La visibilité des signaux va jusqu'à 3 000 mètres et plus. Pour la distinction des signaux, ce qui importe, c'est qu'ils ne soient pas dans l'intervalle photochromatique de l'œil observateur. Le rouge et le vert sont assez bons à ce point de vue, sauf dans le cas de scotome central alcoolique, syphilitique ou diabétique au début où le rouge peut donner des phénomènes de dyschromatopsie. L'emploi des soies de Holmgren ou même de l'appareil de Barthélemy ne peut d'ailleurs rien révéler dans ce cas car des plages de grandes dimensions permettent la vision sur des parties périphériques de la rétine et ne renseignent pas sur le scotome central. Le seul procédé correct consisterait à étudier les yeux

plan perpendiculaire à la position primaire de la ligne de regard définie par le fait de regarder droit devant soi, la tête droite.

précisément dans les conditions de leur emploi, avec une source vue sous un diamètre apparent de $\frac{1}{3500}$ au plus, et ayant l'éclat des signaux réels, ou à peu près. J'ai exécuté l'expérience avec un trou de $0^{mm},2$ placé devant une flamme. Les conditions pratiques de vision des signaux sont réalisées alors à une distance de $3500 \times 0,2 = 700$ millimètres, ou 70 centimètres. J'ai pu alors voir sur mon œil un intervalle photochromatique notable du rouge et du vert dans des conditions pratiques; je reprends en ce moment la question pour mettre sur pied pratiquement une méthode d'étude systématique des yeux par ce procédé, qui les place dans les conditions mêmes de leur emploi, et permettra de dire à l'avance à quelle distance tel œil percevra tel signal par temps clair.

INDICATIONS BIBLIOGRAPHIQUES.

Sur la variation de grandeur des images avec l'azimut dans l'œil astigmate corrigé.
Association française pour l'avancement des sciences, Boulogne, 1899.

Variation de l'acuité visuelle des astigmates avec l'azimut. Modification de la section droite des cônes par l'accommodation astigmatique.
Comptes rendus, tome CXXVIII, page 450.

Compensation accommodative de l'astigmatisme (en commun avec M. SULZER).
Société de biologie, 1899.

Angle limite de numération des objets et mouvements des yeux (en commun avec M. SULZER).
Comptes rendus, tome CXXXII, page 888.

La vision des signaux colorés et les épreuves de la dyschromatopsie.
Annales d'oculistique, 1902.

CINQUIÈME PARTIE

PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE

A. — MUSCLE

(en commun avec M. Ch. Richet).

§ 1. — Variation thermique négative.

Il y a dans le dégagement de chaleur par le muscle des irrégularités observées depuis Solger, par Danilewsky entre autres. Dans bien des expériences M. Chauveau a observé, au début de la contraction, la même irrégularité. On professe en général que le muscle s'échauffe en fonctionnant. L'irrégularité dont nous parlons est un refroidissement du muscle au début du travail. Danilewsky, dans ses tentatives pour mesurer l'équivalent mécanique de la chaleur sur les muscles de grenouille, a été gêné souvent par ce phénomène, qui aurait dû lui montrer l'impossibilité de faire cette mesure dans les conditions où il était placé, le corps en expérience n'ayant pas parcouru un cycle fermé.

M. Chauveau a expliqué ces observations, dans le cas où il était placé, par des phénomènes circulatoires, le muscle contracté chassant le sang qui lui apporte de la chaleur, ou par un phénomène élastique accompagné de refroidissement comme on en rencontre quelques-uns en physique.

Les phénomènes qui se produisent lors de la contraction normale sont en effet susceptibles d'être ainsi interprétés. Nous avons cependant montré qu'il y avait d'autres conditions où un refroidissement se produisait sans pouvoir être ainsi expliqué,

Les expériences ont été faites sur les muscles de la cuisse du chien tétanisés électriquement. L'appareil employé pour la mesure de température était une mince soudure nickel-laiton, le galvanomètre, un Thomson de 8 ohms muni d'un équipage à aiguilles verticales[1]. L'une des soudures était plongée

1. Le galvanomètre à point conséquent (1re partie, D, § 1, a) indiqué ci-dessus a été combiné à la suite de ce travail qui avait montré la difficulté d'emploi des instruments alors connus.

dans le muscle, l'autre dans la glace fondante. L'équipage galvanométrique était ramené au zéro au moyen d'un aimant normal au champ directeur, qui annulait le couple dû aux bobines. L'appareil ainsi monté, amené à 12″ d'oscillation simple, était assez stable, et donnait 1 millimètre de déviation pour 0,001 de degré. Dans ces conditions, quand le chien est à température normale, on voit parfois, au moment de la contraction, un très léger mouvement de l'aiguille du côté du refroidissement, mais il est irrégulier, et peut s'expliquer par un petit déplacement de la soudure. Un échauffement considérable se produit ensuite. Les phénomènes restent les mêmes jusqu'à ce que la température rectale de l'animal soit tombée aux environs de 26°. Dans ces conditions, on voit fréquemment un abaissement de température d'autant plus grand que la tétanisation est plus forte.

Cet abaissement se produit toujours, et avec une intensité considérable, quand on fait l'anémie du muscle, en liant l'aorte par exemple, ou quand on produit l'asphyxie. Dans ce cas, il se produit un refroidissement d'autant plus grand que l'excitation est plus grande. Nous avons eu ainsi des refroidissements qui ont dépassé 0,5 degré. Le même phénomène se produit à coup sûr quand l'animal vient d'être tué.

M. Tissot, reprenant cette étude, a toujours trouvé des réchauffements consécutifs au refroidissement ainsi observé, cela ne change d'ailleurs pas la conclusion suivante.

A côté des explications de M. Chauveau relatives au refroidissement, il y en a une autre que je vais indiquer, et qui met en jeu des réactions chimiques endothermiques. Au premier abord cela semble incompatible avec les principes de la thermodynamique. Nous avons cependant en électricité des phénomènes susceptibles de nous guider vers une explication.

L'énergie dépensée dans le muscle est certainement d'origine chimique comme l'énergie mise en liberté par la pile électrique. Mais, à côté des phénomènes chimiques, réactions exoénergétiques dont la présence est indispensable, il peut y avoir des phénomènes physiques, de dissolution par exemple, qui se font avec absorption d'énergie sous forme de chaleur (1).

C'est ainsi que, dans l'élément Latimer Clark ou dans l'accumulateur au plomb, une partie de l'énergie recueillable dans le circuit extérieur est empruntée au milieu extérieur sous forme de chaleur (17 pour 100 dans le Latimer Clarke). Dans le tétanos musculaire l'énergie libérée est consommée tout entière sur place, pour créer le champ de force musculaire, et sans travail extérieur produit. Le phénomène est tout à fait analogue à ce qui se produit dans le raccourcissement d'une spirale parcourue par un courant

(1) Voir à ce sujet : Lippmann. *Thermodynamique.* — Duhem. *Le potentiel thermodynamique.*

électrique, pour prendre une comparaison de Fick. Deux cas peuvent donc se produire : ou l'énergie disponible sera tout entière transformée en chaleur, et alors le résultat final sera forcément pour le système un accroissement de température, ou bien une partie de l'énergie sera employée à produire des réactions endoénergétiques, et il pourra y avoir manifestation du refroidissement dû aux phénomènes physiques.

§ 2. — **Contraction anaérobie.**

Le phénomène de refroidissement que nous avons observé, dans le cas de la contraction que nous avons par la suite appelée anaérobie, car elle se produit surtout quand le muscle manque d'oxygène, peut donc être accompagné de réactions chimiques particulières qui ne se produisent pas dans la contraction normale ; s'il en est ainsi, il doit y avoir une modification profonde du muscle qui travaille de cette manière. Nous n'avons pas abordé le problème par la méthode chimique, mais la simple observation des propriétés de la contraction anaérobie montre qu'un phénomène nouveau se produit. Quand un muscle travaille dans cet état de contraction, sous l'anémie ou sous l'asphyxie, il arrive promptement à la ruine complète.

Nous avons étudié ce phénomène en détail. Quand on fait l'asphyxie de l'animal pendant une série d'excitations électriques rythmées, on voit d'abord la hauteur de contraction rester invariable, pendant environ trois ou quatre minutes. Puis, si l'excitation est assez puissante, on voit le muscle diminuer ses contractions d'une manière régulière. Si on rend l'oxygène quand les contractions ne sont pas encore trop faibles, on voit le muscle se restaurer rapidement ; dans ces conditions, il se restaure plus vite quand il est soumis aux excitations électriques que quand on le laisse au repos. Si au contraire on prolonge l'expérience au delà d'une certaine limite le muscle est complètement ruiné et, quand on lui rend l'oxygène, il ne peut plus se contracter. Même quand on lui rend l'oxygène alors qu'il se contractait encore un peu, si on le fait travailler électriquement, on le voit se ruiner rapidement. Donc l'action de l'excitation électrique sur ces muscles est variable suivant leur état. Si la ruine n'est pas trop avancée l'excitation électrique est favorable, mais si la ruine est trop avancée l'excitation électrique est nuisible. Un fait remarquable nous a été montré par ces recherches, c'est que la langue se compose d'une manière toute différente des autres muscles. Elle résiste au travail anaérobie tant que l'animal lui-même peut résister à l'asphyxie.

L'étude des animaux refroidis nous a montré que l'état anaérobie se produisait d'une manière irrégulière quand la température était assez basse, et c'est à cela que nous attribuons les refroidissements par contraction que nous avons souvent observés dans ce cas.

Nous tirerons de là une conclusion pratique, c'est que dans les lésions d'origine vasculaire, il faut proscrire le traitement électrique du muscle.

§ 3. — **Études ergométriques en travail continu.**

Nous avons aussi étudié les propriétés du muscle soumis à des contractions rythmées. De nombreuses expériences ont été faites à ce sujet sur le muscle de grenouille. Sur le muscle de l'homme des expériencee ont été faites par Mosso et ses élèves. Mais ils ont étudié la fatigue du muscle poussée jusqu'à l'impossibilité de contraction, au moyen de poids très considérables. La méthode employée était l'enregistrement des hauteurs de contraction. Nous avons cherché au contraire à étudier les régimes que le muscle pouvait soutenir pendant longtemps. L'instrument pour la mesure de la puissance du muscle, c'est-à-dire du travail par minute, est une modification du collecteur de travail de Fick, où la lecture est faite au moyen du vélocimètre ordinaire de l'industrie. Les lectures étaient faites toutes les minutes. Le mouvement employé dans ces expériences est la flexion de l'index.

Nous avons vu dans ces études que le muscle pouvait atteindre un régime permanent maximum parfaitement défini, possible à soutenir pendant plus de deux heures. Une augmentation de 0,1 dans la puissance met bientôt le muscle dans l'impossibilité de continuer. Nous avons étudié le régime permanent en fonction du poids tenseur et de la fréqnence des contractions réglée au moyen d'un métronome. La valeur de l'effort ayant une influence considérable, nous avons dû employer un gant spécial tel que la corde qui soutenait le poids tenseur fût toujours à la même place sur l'article mobile, sans cela les résultats n'auraient pas été comparables d'un jour à l'autre.

Mais malgré ces précautions l'état du muscle ne peut être considéré comme absolument constant. Dans les premières minutes du travail, une crampe apparaît fréquemment, qu'il faut surmonter pour pouvoir arriver au régime permanent. Quand cette crampe est surmontée, on voit se produire une augmentation d'excitabilité que nous avons nommée l'entraînement instantané; celui-ci continue à se produire pendant très longtemps, mais au bout de quelques minutes la période des variations rapides est passée, et les chiffres obtenus se prêtent à l'établissement des lois du phénomène avec une précision suffisante.

Nous concluons de ces expériences que les poids qui permettent à l'index de développer sa puissance maxima en régime continu sont compris entre 700 et 1 000 grammes, la corde étant fixée au niveau de l'interligne phalangino-phalangettien.

L'étude des fréquences nous a amenés à une conclusion intéressante. Nous

avons vérifié dans de très larges limites, comme on le voit sur la figure 6 ci-jointe, la loi de Nawalichin modifiée par M. Chauveau. Un grand nombre de petites contractions partant de l'état de relâchement fatigue moins le muscle qu'un nombre moindre de contractions plus hautes donnant le même travail. Il y a évidemment une limite à la fréquence possible. Si on dépasse la fréquence de 250, la puissance maxima continue diminue très vite.

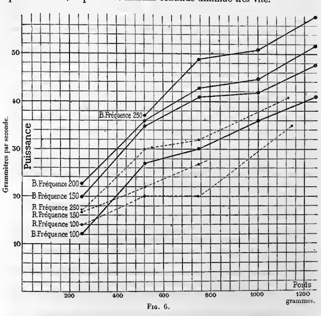


Fig. 6.

Un fait remarquable qui ressort de ces expériences, c'est la faible variation de la puissance avec le poids, tant que celui-ci reste dans la limite moyenne de 700 à 1 000 grammes.

La figure 6 donne les résultats obtenus par les deux observateurs, chaque courbe indiquant, pour une fréquence donnée, la puissance moyenne, en grammètres par seconde, correspondant à un poids donné.

§ 4. — **Études ergométriques en régime intermittent.**

Nous avons ensuite étudié le cas où, au lieu d'imposer au muscle un travail continu, on lui impose un travail coupé de repos. Nous nous sommes bornés au cas où les temps de repos sont égaux aux temps de travail. Nous avons alors vu que, tant que les temps de repos ne dépassaient pas 30 secondes leur valeur avait une faible influence sur la puissance moyenne prise en divisant le travail produit par le temps total de travail et de repos. Cependant les conditions les plus favorables ont lieu quand les alternatives de repos et de travail sont d'environ deux secondes. Dans ces conditions, un fait domine tous les autres, c'est que la fatigue au moyen de laquelle le régime permanent maximum est déterminé est beaucoup moins pénible à supporter que dans le cas du travail continu, et cependant ce régime permanent maximum est parfaitement bien déterminé. L'entraînement instantané a lieu comme dans le travail continu. Quant aux conclusions relatives à la grandeur du travail, il faut distinguer trois cas : celui des poids faibles (inférieurs à 500 grammes), celui des poids moyens (500 à 1 000 grammes), celui des poids forts (au-dessus de 1 000 grammes).

Dans le premier cas, les intermittences sont défavorables, dans le second elles sont indifférentes, dans le troisième elles sont très utiles. Il résulte de nos très nombreuses expériences que les conditions de travail maximum en régime permanent pour l'index sont les suivantes :

Un poids très fort (1 500 grammes).

Une fréquence très grande (le métronome bat 200 par minute).

Des alternatives de repos et de travail de 2 secondes environ.

Ces expériences sont relatives à un muscle de faible puissance, dont le travail et la fatigue ne produisent par conséquent que des réactions générales négligeables, les lois qui en résultent sont donc des propriétés pures du tissu musculaire.

Il nous paraît probable, sans que cependant nous puissions le démontrer rigoureusement, que c'est par le sang oxygéné que se fait la réparation du muscle et que l'oxygène détruit les produits nocifs de la contraction musculaire.

Des contractions répétées, énergiques et continues, en épuisant l'oxygène du sang irrigateur mettent le muscle dans cet état de contraction anaérobie que nous avons démontré, dans un précédent travail, être funeste à la vie musculaire. Donc, plus la circulation sera active, moins il y aura à craindre l'état anaérobie, et par conséquent la ruine du muscle.

L'influence des intermittences semble en résumé se ramener à ces deux lois fondamentales : 1° le maximum de la circulation musculaire a lieu

lorsque le repos succède au travail (Chauveau) ; 2° la contraction est d'autant plus puissante et d'autant moins douloureuse que la circulation est plus active.

Indications bibliographiques.

Effets thermiques de la contraction musculaire étudiés par les mesures thermo-électriques,

par MM. André Broca et Charles Richet. *Société de biologie,* 1896.

De l'influence de la circulation sur les phénomènes thermiques de la contraction musculaire,

par MM. André Broca et Charles Richet. *Société de biologie,* 1896.

Contraction aérobie et contraction anaérobie du muscle,

Note de MM. André Broca et Charles Richet. *Société de biologie,* 1896.

Contraction anaérobie,

par MM. André Broca et Charles Richet. *Archives de physiologie,* 1896.

Effets de l'électricité sur les muscles privés d'oxygène,

par MM. André Broca et Charles Richet. *Archives d'électricité médicale,* 1896.

Expériences ergométriques sur la contraction musculaire en régime permanent maximum. Méthodes et appareils.

Note de MM. André Broca et Charles Richet. *Comptes rendus,* 1898.

Expériences ergométriques sur la contraction musculaire en régime permanent maximum.

Note de MM. André Broca et Charles Richet. *Comptes rendus,* 1898.

Influence des intermittences sur le travail musculaire.

Note de MM. André Broca et Charles Richet. *Comptes rendus,* 1898.

De quelques conditions du travail musculaire chez l'homme.

Études ergométriques, par MM. André Broca et Charles Richet. *Archives de physiologie,* 1898.

B. — SYSTÈME NERVEUX

(En collaboration avec le professeur Charles Richet.)

Nous nous étions proposés comme but l'étude des phénomènes de fatigue du système nerveux et surtout celle des phénomènes asphyxiques. Nous voulions en effet comparer à ce point de vue le système nerveux et le muscle qui nous avait déjà donné les résultats cités plus haut. C'est en poursuivant ces recherches avec une technique appropriée, qu'un hasard heureux nous a amenés à la découverte d'un phénomène beaucoup plus intéressant, celui de la période réfractaire.

§ 1. — Période réfractaire.

Les expériences ont toutes été faites sur le chien. L'animal était chloralosé. Cette anesthésie est la seule qui conserve à la substance grise une intégrité suffisante pour les expériences. Des trous étaient percés dans le crâne audessus de la zone motrice et, après filetage, on y vissait des boutons d'ivoire portant les électrodes. De la sorte les excitations portaient en un point toujours le même. Nous observions fréquemment des irrégularités dans les excitations électriques avec des fréquences convenables, quand un jour nous fûmes obligés de prendre un chien choréique, n'en ayant point d'autre. Sous l'action du chloralose sa chorée devint absolument rythmique, et nous vîmes alors très nettement que les excitations avaient une valeur très différente suivant la période où elles tombaient par rapport à la contraction choréique. Ayant pris un signal de Deprez pour indiquer les moments d'excitation, nous vîmes que les phénomènes étaient d'une régularité absolue. En somme, chez l'animal choréique, l'intervalle entre deux secousses se divise en quatre périodes égales. Une première où il y a addition des excitations, une seconde où il y a suppression des excitations, c'est ce que nous avons appelé, par analogie avec ce qui se passe pour le cœur, la période réfractaire, une troisième où l'excitabilité revient, c'est la période de restitution, la secousse choréique suivant à sa période normale, et enfin une période où la secousse provoquée et la secousse choréique se fusionnent en s'additionnant.

Il s'imposait de chercher si des phénomènes analogues ne se passaient pas dans le cerveau normal. Les expériences ont été faites avec deux chariots de Dubois Reymond, dont les secondaires étaient en série et dont les primaires étaient munis chacun d'un signal de Deprez. L'un était réglé à une interruption par seconde, le second était interrompu à la main. Nous avons

alors constaté que, sur le cerveau normal, des phénomènes identiques aux précédents se passaient, période d'addition et période réfractaire, mais que tout le phénomène était terminé en 0^{sec},1, au lieu de 1 seconde chez le chien choréique.

Ces phénomènes ont lieu également avec les excitations réflexes produites par exemple en frappant la table avec un marteau. L'animal chloralosé réagit alors énergiquement. Il en est de même quand on provoque le réflexe auditif.

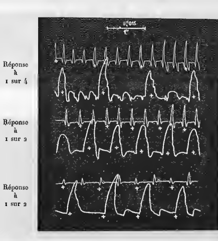


Fig. 7.

Pour expliquer ce phénomène, nous avons d'abord pensé à une action chimique, épuisement d'une charge de matière active dans la cellule. Mais cette idée est incompatible avec l'existence de la période d'addition, et avec la possibilité de la tétanisation. C'est alors que nous avons pensé à une explition purement physique du phénomène. Le système nerveux est en effet une installation pour le transport d'énergie à distance, nous devons donc nous attendre à voir se produire des phénomènes analogues à ceux que nous connaissons dans tous les champs de force. Dans les idées modernes on ne conçoit pas l'existence d'un champ de force autrement que par la déformation

d'un milieu. Si la cause de l'équilibre contraint de ce milieu vient à cesser brusquement, il doit revenir à son état d'équilibre naturel par une série d'oscillations amorties. Les champs électriques nous donnent des exemples de ce fait et le principe de l'action de milieu tient dans la physique actuelle un rang presque égal à celui du principe de la conservation de l'énergie. Si nous l'admettons pour le système nerveux, nous devons trouver lors de la cessation brusque d'un acte cérébral des ondulations de retour à l'équilibre analogues à celles des champs électriques. C'est pour arriver mathématiquement à ce ré-



Fig. 8

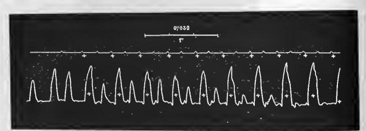


Fig. 9.

sultat que j'ai entrepris la théorie générale des champs de force dont j'ai parlé dans mes travaux relatifs à l'électricité. Le fait que le nerf est le siège du courant d'action suffit pour établir que c'est un lieu de transformation de l'énergie, donc qu'on pourra rendre compte des faits par l'existence d'un courant agissant comme un courant électrique suivant la loi de Laplace. Ceci ne comporte aucune hypothèse sur la nature des phénomènes nerveux. En admettant ces principes, nous devons retrouver pour les ondulations nerveuses toutes les lois des systèmes oscillants, électriques ou matériels. Nous les avons vérifiées dans tous leurs détails. Nous avons vu que les excitations ner-

veuses, quand on resserrait le rythme des excitations électriques, commençaient par les suivre, puis que, subitement, elles ne répondaient plus qu'une fois sur deux, que ce rythme toujours à un sur deux se resserrait, pour donner ensuite les rythmes à un sur trois, puis à un sur quatre. La figure 7 ci-jointe montre ce phénomène, les excitations étant produites par des chocs sur la table, ce qui provoque chez l'animal chloralosé des réflexes considérables. Chaque expérience comprend deux lignes d'enregistrement, la ligne supérieure indiquant l'enregistrement des excitations, et l'inférieure celle des contractions. Les signes + marquent les excitations et contractions qui se correspondent. Ces courbes, comme les suivantes, proviennent de chiens très refroidis.

Si au contraire on maintient constante la fréquence des excitations, on voit une période de trouble précéder la période d'état comme dans toutes les expériences de synchronisation (fig. 8 et 9).

Nous pouvons, en prenant les valeurs de l'excitabilité après une excitation, avoir une idée de la forme de la courbe de retour à l'équilibre du système

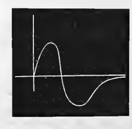


Fig. 10.

nerveux. C'est la forme de la figure 10, ci-jointe, la partie supérieure de la courbe étant la période d'addition, la partie inférieure la période réfractaire. Or c'est là une courbe qui ne peut être réalisée dans le retour à l'équilibre d'un système abandonné à lui-même. Mais si, au lieu de faire cesser simplement la cause de l'équilibre contraint, on la fait cesser en donnant successivement deux impulsions rapides en sens contraire, on obtient précisément cette forme. C'est celle que Sir W. Thomson a réalisée pour la transmission la plus économique des dépêches dans les câbles sous-marins. Elle nécessite l'existence d'une ondulation de 0,05 environ. C'est précisément là la période du bruit musculaire ; et il ne fait de doute pour personne que la cause de ce bruit soit dans une ondulation cérébrale.

Cette forme est celle que les physiciens réalisent pour les phénomènes mé-

caniques et électriques toutes les fois qu'ils veulent éliminer les effets de l'inertie et gagner du temps pour revenir au zéro. Il n'est pas besoin d'insister pour montrer l'utilité d'un retour rapide au zéro du système nerveux, les ordres volontaires ne pouvant pas été coordonnés avant ce moment.

Il nous restait à étudier la période réfractaire en fonction de la température. Nous l'avons fait en notant les fréquences pour lesquelles apparaissaient les premières irrégularités. Nous avons alors trouvé la courbe ci-jointe figure 11.

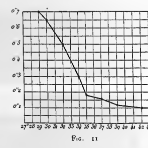


Fig. 11

§ 2. — **Temps perdu des réflexes chez le chien.**

L'étude de la période réfractaire nous amène à connaître la fin de l'ondulation nerveuse quand une excitation vient de cesser. Il serait intéressant d'avoir quelques données sur la transmission directe d'un acte volontaire pouvant se rapprocher de celles que nous avons acquises sur la période réfractaire. C'est ce qui nous a poussés à étudier le temps perdu des réflexes chez le chien chloralosé, en fonction de la température. Nous avons employé les procédés de mesure habituels pour cette étude et nous avons trouvé les nombres suivants :

40°	0"042	36°	0"049	31°,5	0"080
39°	0"045	35°	0"050	29°	0"1
37°	0"048	34°	0"060		

En construisant la courbe de cette quantité en fonction de la température, on obtient une courbe presque exactement superposable à celle de la période réfractaire en choisissant convenablement l'échelle. Il est donc bien probable que les deux phénomènes sont de même origine.

INDICATIONS BIBLIOGRAPHIQUES.

Période réfractaire dans les centres nerveux du chien choréique.

Note de MM. ANDRÉ BROCA et CHARLES RICHET. *Société de biologie*, 1896.

Période réfractaire dans les centres nerveux.

Note de MM. ANDRÉ BROCA et CHARLES RICHET. *Comptes rendus*, 1897.

Période réfractaire dans les centres nerveux, ondulations nerveuses, et conséquences qui en résultent au point de vue de la dynamique cérébrale.

Note de MM. ANDRÉ BROCA et CHARLES RICHET. *Comptes rendus*, 1897.

Période réfractaire et synchronisation des oscillations nerveuses.

Note de MM. ANDRÉ BROCA et CHARLES RICHET. *Comptes rendus*, 1897.

Les théories possibles de la période réfractaire.

Conférence faite à l'Institut Solvay en février 1897, par M. ANDRÉ BROCA. (Elle avait été précédée d'une conférence du professeur CHARLES RICHET sur la partie expérimentale des phénomènes.)

Réflexes provoqués par des excitations acoustiques, etc.

Note de MM. ANDRÉ BROCA et CHARLES RICHET. *Société de biologie*, 1897.

Vitesse des réflexes chez le chien et variation de la température organique.

Note de MM. ANDRÉ BROCA et CHARLES RICHET. *Société de biologie*, 1897.

Période réfractaire dans les centres nerveux.

Par MM. ANDRÉ BROCA et CHARLES RICHET. *Archives de physiologie*, 1897.

Refractory period in the nerve centres.

British Association. Toronto.

C. — ACOUSTIQUE PHYSIOLOGIQUE

Il y a trois qualités du son, l'intensité, la hauteur, et le timbre. D'après les idées classiques, l'intensité dépend de l'amplitude des vibrations, la hauteur dépend de leur période, le timbre dépend de certains attributs de la forme de la vibration.

Pour la lumière nous voyons une loi analogue. La notion physiologique de couleur est certainement liée à la période de la vibration lumineuse. Mais les expériences de Charpentier pour les très faibles intensités, de Helmholtz pour les très fortes, ont montré que la notion de couleur n'est pas absolument indépendante de l'intensité. Quand on emploie de très faibles intensités, la notion de lumière précède toujours celle de couleur. Il y a pour toute couleur une intensité au-dessous de laquelle elle paraît grise. Quand l'intensité devient très grande, toutes les couleurs tendent de même vers le blanc.

J'ai cherché s'il n'y avait pas pour le son un phénomène analogue. Une étude approfondie m'a montré que le son monte quand l'intensité diminue, et cela dans toutes les circonstances. Le phénomène semble plus net quand les sons sont plus bas. Cependant une mesure exacte établit qu'il est le même dans toute l'étendue de la gamme. La mesure a été faite de la façon suivante :

Un sonomètre est accordé sur un diapason fortement excité. On laisse le diapason s'arrêter. Quand le son est à peine perceptible on pince la corde du sonomètre avec la même force que précédemment, et on l'arrête aussitôt avec le doigt. L'accord physiologique n'existe plus. On déplace alors le chevalet mobile du sonomètre jusqu'à ce que l'accord apparent soit rétabli, et on constate que le déplacement du chevalet mobile est indépendant de la hauteur du son. La différence de hauteur apparente entre le son maximum possible avec un diapason muni de son résonateur et excité par un archet, et le minimum de son perceptible dû à ce même diapason, est de 1/5 de ton environ. Des expériences variées de toutes les façons m'ont montré qu'il ne s'agissait pas là d'un phénomène mécanique, mais d'un phénomène physiologique. Nous pouvons donc dire que la hauteur d'un son dépend essentiellement de sa période et accessoirement de son intensité.

Une expérience rapide permet à une oreille exercée de se convaincre du fait ; il suffit de faire vibrer un diapason et de le placer tout près de l'oreille, puis de l'éloigner jusqu'à la limite de l'audition ; on perçoit alors l'élévation, si on a un peu l'habitude de l'observation subjective. Une oreille très exercée peut même reconnaître le phénomène avec le tic-tac d'une montre, entre le maximum produit par le contact de la montre avec l'oreille et le moment où le son cesse d'être perçu.

Indications bibliographiques.

Influence de l'intensité sur la hauteur du son.
Comptes rendus, juin 1897.

Influence de l'intensité sur la hauteur du son.
Société de biologie, juin 1897.

SIXIÈME PARTIE

PRÉCIS DE PHYSIQUE MÉDICALE

On trouvera ci-dessous la plus grande partie de l'avant-propos, qui contient mes idées sur le rôle de la physique en médecine.

Les sciences physiques prennent chaque jour une part plus grande dans les applications médicales, et les médecins ont de plus en plus besoin d'un guide pour comprendre ces applications, car l'esprit humain a des limites, et on ne peut demander à un médecin, qui a déjà tant de choses à savoir, dans un ordre d'idées si différent, de posséder en même temps à fond la physique, ce qui d'ailleurs lui serait absolument inutile la plupart du temps dans sa pratique. Pour les applications médicales de la physique, l'enseignement secondaire et le P. C. N. fournissent au médecin les bases suffisantes, mais ces enseignements ne donnent pas les applications médicales elles-mêmes et ce n'est pas leur rôle de les donner; de plus ils contiennent un certain nombre de choses très utiles pour meubler l'esprit des jeunes gens, pour en faire des hommes instruits, mais qui devront, dans l'avenir, rester au plan des choses de l'enseignement secondaire, c'est-à-dire de celles qui ouvrent l'intelligence, et non de celles qui lui donnent une valeur technique.

Au milieu de ces connaissances diverses, le médecin doit faire un choix, ou pour mieux dire ceux qui s'occupent de physique médicale doivent le faire pour lui.

J'ai donc cru devoir rappeler dans ce livre ce qu'il y a d'indispensable dans les théories physiques fondamentales pour comprendre les applications pratiques; c'est qu'en effet les souvenirs des études secondaires s'effacent à mesure qu'on avance en âge, et on a besoin de se les remettre en mémoire au moment de l'application. Mais un simple rappel ne doit pas prendre l'ampleur d'une démonstration et j'ai cherché à me conformer à ce principe en

réduisant la partie purement physique de cet ouvrage à une courte évocation de souvenirs ; de plus j'ai indiqué par un astérisque ceux des paragraphes qui ont été rédigés dans ce but. On devra s'y reporter seulement quand la compréhension du texte non marqué d'astérisques l'exigera ; il sera cependant utile à une première lecture d'y jeter un coup d'œil.

J'ai également supprimé un grand nombre d'appareils dont la description entraîne à des longueurs considérables, et dont les figures font trop ressembler un traité de physique à un catalogue de syndicat de constructeurs. J'ai systématiquement laissé de côté, par exemple, la description des aspirateurs, celle du spectroscope, celle du microscope, celle du saccharimètre, celle des étuves régulatrices de température, celle des interrupteurs de bobines d'induction, etc. ; tous ces appareils exigent des figures encombrantes, des descriptions longues et fastidieuses, vite oubliées d'ailleurs, au lieu que leur maniement si simple s'apprend en quelques instants de travaux pratiques, quand on a en main, d'une part l'appareil, et d'autre part une notice bien faite. Il est d'ailleurs inutile, dans un cours théorique, de décrire en détail ces appareils, dont les épreuves du baccalauréat exigent la connaissance suffisante.

Un autre principe m'a également guidé dans le choix des matières traitées. Les laboratoires, quels qu'ils soient, créent la science comme la nature crée les êtres, en jetant au vent un nombre immense de germes dont un petit nombre seulement évolue jusqu'à la formation d'un être complet. Pour la science, les êtres complets sont de deux sortes : l'application pratique d'une part, et d'autre part les théories utiles pour classer les faits en un tout possible à comprendre et à retenir. Dans un précis comme celui-ci, la pratique doit tenir une place prépondérante, aussi ai-je élagué un grand nombre de résultats expérimentaux aujourd'hui classiques, lorsque je ne leur voyais pas d'application pratique assez directe.

J'ai cru devoir, au contraire, donner quelques indications très succinctes sur les principales applications médicales de la physique, en particulier dans le cas de l'électricité. Sans avoir voulu faire ainsi un traité d'électrothérapie, j'espère avoir donné les quelques principes qui permettront au médecin non spécialiste de savoir dans quel cas il pourra songer à faire traiter ses malades par un spécialiste autorisé, ou à essayer lui-même un traitement parfois très simple, mais pour lequel il devra chercher ailleurs un supplément d'information, aussi bien au point de vue de son indication qu'à celui de sa technique.

Je veux encore dire un mot sur les parties consacrées à la mécanique et aux phénomènes physico-chimiques. En mécanique, je me suis efforcé, entre autres, de donner les principes indispensables pour permettre à un médecin de régler les exercices physiques de ceux dont il dirige l'hygiène. Parmi les

phénomènes physico-chimiques, j'ai consacré un chapitre à des phénomènes non encore classiques, ceux auxquels sont soumis les corps colloïdes stables. L'importance médicale considérable du sujet m'a semblé nécessiter ces indications. quoique cette partie de la science ne soit pas complètement faite. Ce chapitre vieillira vite, j'ai cru devoir l'écrire quand même.

J'aurai pleinement atteint mon but si les médecins lancés dans la pratique trouvent parfois utile de feuilleter ce livre pour se remettre en mémoire les principes, forcément un peu loin d'eux et cependant si utiles, de l'hygiène et de la thérapie physiques.

SEPTIÈME PARTIE

LISTE DES PRINCIPALES PUBLICATIONS

A. — TRAVAUX ORIGINAUX PAR ORDRE CHRONOLOGIQUE

1892.

Sur l'aplanétisme (*Comptes rendus*, t. CXIV, p. 168).
Sur l'achromatisme (*Comptes rendus*, t. CXIV).
Article d'ensemhle dans le *Journal de Physique*, 3e série, t. I, p. 147.

1893.

Études physiologiques, physiques et cliniques sur la vision des éruptions cutanées. Thèse pour le doctorat en médecine.

1894.

Sur les sensations visuelles et la photométrie (*Journal de Physique*, 3e série, t. III, p. 206 et *The Electrician*).

Sur la découverte des étoiles photographiques. *Revue générale des sciences*, p. 310.

Sur le fonctionnement de l'appareil nerveux visuel (*Association française pour l'avancement des sciences*, p. 338).

Essai de théorie des images accidentelles sur fond obscur (*Association française pour l'avancement des sciences*, p. 344).

Procédés physiques d'observation des éruptions cutanées (*Presse Médicale*, Juillet 1894).

1895.

Sur la courbure de la surface focale dans les systèmes centrés (*Journal de Physique*, 3e série, t. IV, p. 254).

Sur l'élimination des forces électro-motrices dans la mesure des résistances (*Association française pour l'avancement des sciences*, p. 363).

1896.

Galvanomètre absolument astatique et à grande sensibilité (*Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 101).

Article sur le même sujet (*Journal de Physique*, février 1897, 3e série, t. VI, p. 67).

Sur le rendement de l'œil (*Éclairage électrique*, 1896).

Les rayons de Röntgen et les rayons de Lénard (*Société de Physique*, 7 février 1896).

Effets thermiques de la contraction musculaire (en commun avec M. Ch. Richet) (*Société de Biologie*, 1896).

De l'influence de la circulation sur les phénomènes thermiques de la contraction musculaire (en commun avec M. Ch. Richet) (*Société de Biologie*, 1896).

Contraction aérobie et contraction anaérobie des muscles (en commun avec M. Ch. Richet) (*Société de Biologie*, 1896).

Article aux *Archives de Physiologie*, 1896.

Effets de l'électricité sur les muscles privés d'oxygène (en commun avec M. Ch. Richet) (*Archives d'électricité médicale*, 1896).

Période réfractaire dans les centres nerveux du chien choréique (en commun avec M. Ch. Richet) (*Société de Biologie*, 1896).

Rapport sur la photométrie (*Association française pour l'avancement des sciences*, 1896).

Sur quelques conditions à réaliser en photométrie (*Association française pour l'avancement des sciences*, 1896).

1897

Influence de l'intensité sur la hauteur du son (*Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 1512).

Période réfractaire dans les centres nerveux (en commun avec M. Ch. Richet) (*Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 96).

Période réfractaire dans les centres nerveux, ondulations nerveuses, et conséquences qui en résultent au point de vue de la dynamique cérébrale (en commun avec M. Ch. Richet) (*Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 573).

Période réfractaire et synchronisation des oscillations nerveuses (en commun avec M. Ch. Richet) (*Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 697).

Article d'ensemble sur les trois dernières notes au *Journal de Physiologie*.

Communication sur le même sujet à la *Bristish association for advancement of science*. Congrès de Toronto.

Les images subjectives normales et pathologiques (*Société de Biologie*, janvier 1897).

Photomètre universel (en commun avec M. A. Blondel), *L'éclairage électrique*, 23 janvier 1897.

Sur le mécanisme de la polarisation rotatoire magnétique (*Comptes rendus*, t. CXXV, p. 696).

Sur la transmission d'énergie à distance. Application à la polarisation rotatoire magnétique (*Comptes rendus*, t. CXXV, p. 765).

Réflexes provoqués par les excitations acoustiques (en commun avec M. Ch. Richet), *Société de Biologie*, 1897.

1898.

Expériences ergographiques pour mesurer la puissance maximum d'un muscle en régime régulier (en commun avec M. Ch. Richet) (*Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 356).

De l'influence de la fréquence du mouvement, et du poids soulevé sur la puissance maximum du muscle en régime régulier (en commun avec M. Ch. Richet) (*Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 485).

De l'influence des intermittences de repos et de travail sur la puissance moyenne du muscle (en commun avec M. Ch. Richet) (*Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 656).

Article d'ensemble sur les trois dernières notes au *Journal de Physiologie*.

Quelques propriétés des cathodes placées dans un champ magnétique puissant (*Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 736).

Quelques propriétés des décharges électriques produites dans un champ magnétique (*Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 823).

Article d'ensemble sur les deux dernières notes au *Journal de Physique*, juillet 1898, 3e série, t. VII, p. 710).

Isolement des appareils contre la trépidation du sol (*Société de Physique*, janvier 1898, 3e série, t. VII, p. 648).

Aperçu sur la thermodynamique du muscle (*Association française pour l'avancement des sciences*. Congrès de Nantes).

Sur l'évaluation des longueurs (*Journal de Physique*, 3e série, t. VII, p. 543).

Sur le rôle de l'antenne dans la télégraphie sans fil (*Association française pour l'avancement des sciences*. Congrès de Nantes).

1899.

Décharge disruptive dans le vide. Formation de rayons anodiques (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 356).

Variation de l'acuité visuelle avec l'azimut. Modification de la section droite des cônes par l'accommodation astigmatique (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 450).

Sur le principe de l'égalité de l'action et de la réaction (*Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 1016).

Sur un spectroscope à grande dispersion et déviation fixe (en commun avec M. Pellin) (*Journal de Physique*, 3e série, t. VIII, p. 314).

Compensation accommodative de l'astigmatisme (en commun avec M. Sulzer) (*Société de Biologie*, 1899).

Sur la variation de grandeur des images avec l'azimut dans l'œil astigmate corrigé (*Association française pour l'avancement des sciences*. Congrès de Boulogne).

1900.

Les transformations d'énergie dans l'organisme. Rapport au *Congrès international de Physique* de 1900.

Champs de vecteur et champs de force. Action réciproque des masses scalaires et vectorielles. Énergie localisée (*Comptes rendus*, t. CXXX, p. 109).

Sur les masses vectorielles de discontinuité (*Comptes rendus* t. CXXX, p. 317).

1901.

Variation de l'acuité visuelle avec l'éclairage et l'adaptation. Mesure de la migration du pigment rétinien (*Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 795).

Article plus développé au *Journal de Physiologie et de Pathologie générale* sous le titre ; Causes rétiniennes de variation de l'acuité visuelle en lumière blanche.

Angle limite de numération des objets et mouvements des yeux (en commun avec M. Sulzer) (*Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 888).

Décharge disruptive dans les électrolytes (en commun avec M. Turchini) (*Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 915).

Sur la mise au point du tube de Crookes à osmo-régulateur pour les bobines puissantes (*Archives d'électricité médicale*, 1901).

Inertie rétinienne relative au sens des formes (en commun avec M. Sulzer) (*Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 653).

Souvenirs d'un électrocuté. *Revue scientifique*.

Appareil pour la production des décharges de condensateurs. *Congrès international de Physiologie*, de Turin.

1902.

Emploi de l'arc au fer en photothérapie (en commun avec M. Alfred Chatin) (*Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 562).

La sensation lumineuse en fonction du temps (en commun avec M. Sulzer) (*Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 831).

Article au *Journal de Physiologie et de Pathologie générale* sur le même sujet.

La vision des signaux colorés et les épreuves de la dyschromatopsie. *Annales d'oculistique*, 1902.

1903.

Inertie rétinienne relative au sens des formes. Sa variation suivant le critérium adopté. Formation d'une onde de sensibilité sur la rétine (en commun avec M. Sulzer) (*Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1287).

Mémoire détaillé au *Journal de Physiologie et de Pathologie générale*.

Inertie cérébrale relative à la vision des lettres (en commun avec M. Sulzer) (*Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1481).

. Mémoire détaillé au *Journal de Physiologie et de Pathologie générale*.

Communication à la *Société de Physique*.

Sur les phénomènes de l'antenne de la télégraphie sans fil (en commun avec M. Turchini) (*Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1644).

Électrodynamomètre de haute fréquence (*Association française pour l'avancement des sciences*. Congrès d'Angers).

Comparaison des diverses lettres au point de vue de la vitesse de lecture. Formation d'un alphabet rationnel (en commun avec M. Sulzer) (*Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 812).

Sensation lumineuse en fonction du temps pour les lumières colorées (en commun avec M. Sulzer) (*Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 944).

Rôle du temps dans la comparaison des éclats lumineux en lumière colorée (en commun avec M. Sulzer) (*Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 977).

La sensation lumineuse en fonction du temps dans les lumières colorées. Discussion des résultats (en commun avec M. Sulzer) (*Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 1046).

1904.

Article d'ensemble sur les trois dernières notes au *Journal de Physiologie et de Pathologie générale*, 1904, p. 55.

Quelques points de technique pour l'examen des organes au moyen des rayons N. Premiers résultats relatifs à l'étude du cerveau (*Comptes rendus*, t. CXXXVIII, p. 1161).

Etude de la moelle épinière au moyen des rayons N (en commun avec M. Zimmern) (*Comptes rendus*, t. CXXXVIII, p. 1239).

Modifications de la radiation des centres nerveux sous l'action des anesthésiques (en commun avec M. Jean Becquerel) (*Comptes rendus*, t. CXXXVIII, p. 1280).

Sur les formes de la décharge de haute fréquence entre fils de platine de faible diamètre (en commun avec M. Turchini) (*Comptes rendus*, t. CXXXVIII, p. 1489).

Étude du primaire de la bobine d'induction au moyen de l'ondographe de M. Hospitalier (en commun avec M. Turchini) (*Société des Électriciens*, p. 235).

1905.

Sur la variation du pouvoir inducteur spécifique du verre avec la fréquence (en commun avec M. Turchini) (*Comptes rendus*, t. CXL, p. 780).

Sur la résistance des fils métalliques pour les courants de haute fréquence (en commun avec M. Turchini) (*Comptes rendus*, t. CXL, p. 1238).

Communication sur le même sujet à la *Société de Physique*.

Sur le pouvoir inducteur spécifique des métaux (*Comptes rendus*, t. CXL, p. 1677).

Erratum relatif à cette note, t. CXLI, p. 80, nouvel erratum, p. 1678, lignes 5 et 7 à partir du bas, lire $k\omega^2$ au lieu de $k^2\omega^2$.

Sur le pouvoir inducteur spécifique des métaux dans le cas des ondes calorifiques et lumineuses (*Comptes rendus*, t. CXLI, p. 24).

Appareil pour la mesure directe de l'intensité moyenne du courant induit (*Archives d'Électricité médicale*).

1906.

Sur la durée de la décharge du tube à rayons X (*Comptes rendus*, t. CXLII, p. 271).

Etude photographique de la durée de la décharge dans un tube de Crookes (en commun avec M. Turchini). *Comptes rendus*, t. CXLII, p. 445.

Sur la résistance des électrolytes dans le cas des courants de haute fréquence (en commun avec M. Turchini). *Comptes rendus*, t. CXLII, 28 mai 1906.

Pouvoir inducteur spécifique et conductibilité, viscosité électrique. *Comptes rendus*, t. CXLII, p. 1328, 11 juin 1906.

B. — TRAVAUX DE VULGARISATION

Sans vouloir insister sur les articles étendus, dont plusieurs représentent

de véritables petits traités, écrits pour diverses publications j'en donne ci-dessous les titres des principaux :

a. — **Articles pour le Dictionnaire de Physiologie,** de M. Ch. Richet.

1° Electricité (1902) (80 pages du dictionnaire).
2° Ergométrie (1902).

b. — **Articles pour l'Encyclopédie française d'ophtalmologie,** de MM. Valude et Lagrange.

1° Optique géométrique et physique (1904).
2° Optique physiologique (1904) (200 pages).

c. — **Articles pour le Traité de Radiologie,** de M. Bouchard (M. Guilleminot, secrétaire).

1° Les radiations (1904).
2° Le tube de Crookes considéré comme producteur de Rayons X (1904).

d. — **Articles pour le Traité de Physique biologique,** de MM. d'Arsonval, Chauveau, Gariel, Marey (M. Weiss, secrétaire).

1° Mesure et utilisation de la lumière (1903).
2° (*Sous presse*). Mesure des courants continus et des courants alternatifs.

e. — **Conférences.** — 1° *Le spectre solaire et ce qui semble devoir s'y rattacher* (rayons de Röntgen et rayons de Becquerel). — Association française pour l'avancement des sciences, 1896.

Publication de cette conférence à la Revue scientifique, 1896.

2° *La télégraphie sans fil.* — Faite à l'Association française pour l'avancement des sciences en 1899. — A la Société astronomique en 1899. — Au Conservatoire des Arts et Métiers en 1901.

Publication de cette conférence à la Revue scientifique de 1899.

3° *Les signaux optiques.* — *Étude des couleurs faibles et des lumières brèves.* — Conservatoire des Arts et Métiers, 1902.

Publication à la Revue générale des sciences.

f. — **Livres.** — 1° *La télégraphie sans fil* (Gauthier-Villars, éditeur), un volume d'environ 200 pages. 1re édition, 1899. — 2e édition, 1904.

2° *Précis de Physique médicale.* — De la bibliothèque du doctorat en médecine de MM. Gilbert et Fournier. J.-B. Baillière, éditeur. — 1 volume d'environ 600 pages, 1906.

CHARTRES. — IMPRIMERIE DURAND, RUE FULBERT.